



SKRIPSI - ME141501

**ANALISA PERFORMA TUG BOAT
DENGAN 27 TON BOLLARD PULL
MENGUNAKAN CATERPILLAR WOSR
2x1000 HP SEBAGAI MAIN ENGINE**

*DEWI YUNI ASTUTIK
NRP. 4211 100 086*

*Dosen Pembimbing
DR. I Made Ariana S.T, M.Sc
Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc*

*JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015*



FINAL PROJECT - ME141501

**PERFORMANCE ANALYSIS 27 TON
BOLLARD PULL TUG BOAT
USING CATERPILLAR WOSR 2x1000 HP
AS A MAIN ENGINE**

DEWI YUNI ASTUTIK
NRP. 4211 100 086

Advisors

DR. I Made Ariana S.T, M. Sc
Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2015

LEMBAR PENGESAHAN

*PERFORMANCE ANALYSIS 27 TON BOLLARD PULL TUG
BOAT USING CATERPILLAR WOSR 2x1000 HP AS A MAIN
PROPULSION ENGINE*

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)
Program S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DEWI YUNI ASTUTIK

NRP. 4211 100 086

Disetujui oleh Dosen Pembimbing skripsi :

1. DR. I Made Ariana, S.T, M.Sc



2. Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc



SURABAYA

Juli, 2015



LEMBAR PENGESAHAN

PERFORMANCE ANALYSIS 27 TON BOLLARD PULL TUG BOAT USING CATERPILLAR WOSR 2x1000 HP AS A MAIN ENGINE

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)
Program S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

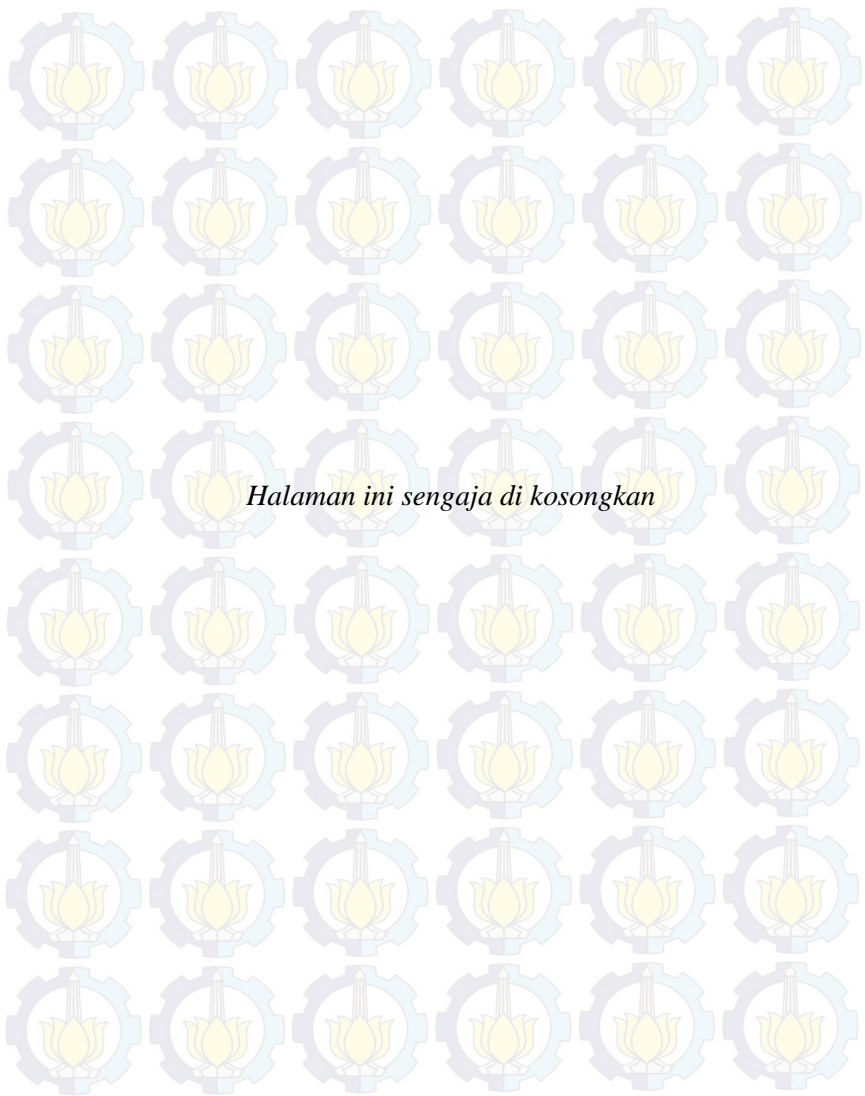
DEWI YUNI ASTUTIK
NRP. 4211 100 086

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Dr. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng



SURABAYA
Juli, 2015



ANALISA PERFORMA TUG BOAT DENGAN BOLLARD PULL 27 TON MENGGUNAKAN CATERPILLAR WOSR 2x1000 HP SEBAGAI MAIN ENGINE

Nama : Dewi Yuni Astutik
NRP : 4211100086
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. DR. I Made Ariana, S.T, M.Sc.
2. Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc

Abstrak

Tahanan pada barge yang beroperasi pada kondisi beban penuh akan lebih besar bila dibandingkan dengan kondisi *barge* yang dioperasikan pada beban kosong. Perbedaan tahanan ini akan ditanggung oleh tug boat yang akan menarik *barge* tersebut. Pada saat kondisi *towing* dan *free running* tug boat membutuhkan kecepatan yang sesuai. Perubahan kecepatan ini akan menyebabkan perubahan putaran dan daya yang sesuai untuk operasional tersebut. Salah satu solusinya dengan menggunakan engine jenis *Wide Operating Speed Range* (WOSR) seperti engine Caterpillar Type C32 ACERT yang dapat beroperasi pada daya 1000 HP di RPM 1600-1800. Metode yang digunakan yaitu dengan memvariasikan kecepatan dan beragam alternatif rasio gearbox untuk memudahkan pemilihan propulsi dalam engine propeller matching maka diperoleh hasil penggunaan WOSR untuk tug boat paling optimal terletak pada kecepatan 4 knot saat *towing* dan 9 knot saat *free running* dengan alternatif rasio gearbox 1:5.591.

Kata kunci : Tug Boat, WOSR, EPM, Sistem Propulsi

Halaman ini sengaja di kosongkan

PERFORMANCE ANALYSIS 27 TON BOLLARD PULL TUG BOAT USING CATERPILLAR WOSR 2x1000 HP AS A MAIN ENGINE

Name : Dewi Yuni Astutik
NRP : 4211100086
Department : Marine Engineering
Advisors : 1. DR. I Made Ariana, S.T, M.Sc.
2. Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc

Abstract

Resistant on a barge operating at full load conditions will be greater compared to the barge that is operated at empty load. The resistant difference will be borne by tug boat that will tow the barge. At towing and free running conditions, tug boat needs accurate speed. This speed change will cause changes in rotation and power appropriate to the operation. One of the solution is to use engine types Wide Operating Speed Range (WOSR) such as Caterpillar Type C32 ACERT engine that can operate on power 1000 HP at 1600 to 1800 RPM. The method used in this thesis was is varying the speed and variety of alternative gearbox ratios to facilitate the selection of the engine propeller matching and The most optimal result of the use of WOSR for tug boat was at the speed of 4 knots while towing and 9 knots while free running with alternative gearbox ratio of 1: 5,591.

Keywords : Tug Boat, CAT WOSR, EPM, Propulsion System

Halaman ini sengaja di kosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan segala limpahan rahmat serta hidayahNya hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Bidang Studi Marine Power Plant (MPP) program Studi S1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS.

Dalam pengerjaan skripsi ini, banyak pihak yang telah ikut serta memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis sehingga buku laporan skripsi ini dapat terselesaikan tepat waktu. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Ayah dan Ibu tercinta di rumah yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
2. Bapak Dr. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, ST, M.Sc. selaku koordinator Skripsi.
4. Bapak DR. I Made Ariana S.T, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing skripsi yang dengan sabar memberikan ilmu tahanan dan propulsi dan arahan untuk mengerjakan.
5. Bapak Ir. Indrajaya Gerianto selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah memberikan ilmu tentang "*injection timing*" dan semangat untuk mengerjakan sampai akhir.
6. Segenap dosen penguji pada Lab MPP yang telah memberikan sumbangan ide yang bersifat konstruktif kepada penulis.
7. Bapak Heru Hermawan, Bapak Joko Susilo, Bapak Kuswanto serta seluruh pihak PT. Trakindo Utama atas bimbingan dan kemudahan akses dalam pengambilan data skripsi.

8. Segenap rekan-rekan member Lab Getaran serta Tim study case PT. Trakindo Utama, terimakasih atas kebersamaan dan dukungannya.
9. Rekan-rekan angkatan AMPIBI'11 dalam memberikan motivasi penuh, khususnya Siti Lis Ina Atul Ma'rifah (teman begadang di lab) serta rekan-rekan lain yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.
10. Segenap pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas skripsi yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, penulis mengucapkan banyak terimakasih.

Penulis menyadari bahwa segala yang ada di dalam skripsi ini masih memiliki kekurangan. Hal ini disebabkan keterbatasan ilmu pengetahuan serta wawasan yang penulis miliki. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat konstruktif dari berbagai pihak guna perbaikan kedepannya.

Akhir kata, penulis berharap semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkannya.

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
Abstrak	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Skripsi	4
1.5. Manfaat.....	5
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Tug Boat.....	7
2.2. Caterpillar WOSR	10
2.3. Vessel Performance	13
2.4. Engine Propeller Matching.....	17
2.4.1. Matching Point.....	17
2.4.2. Fuel Consumption	18
BAB III.....	21
METODOLOGI	21
3.1. Umum.....	21
3.2. Diagram Pengerjaan Skripsi	23
BAB IV	25
ANALISA DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Umum.....	25
4.2. Data Kapal.....	25
4.3. Data Engine dan Propulsor.....	26
4.4. Langkah Mendesain Propeller.....	26
BAB V	49

KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1. Kesimpulan.....	49
5.2. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	51
Lampiran	53

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Pemilihan Propeller	30
Tabel 4.2. Variasi nilai tahanan saat <i>towing</i> di berbagai kecepatan31	
Tabel 4.3. Variasi nilai tahanan saat <i>free running</i> di berbagai kecepatan	31
Tabel 4.4. Nilai koefisien α dan β pada masing-masing kecepatan saat kondisi <i>towing</i>	32
Tabel 4.5. Nilai koefisien α dan β pada masing-masing kecepatan saat kondisi <i>free running</i>	32
Tabel 4.6. Kt-J untuk kondisi <i>towing</i>	32
Tabel 4.7. Kt-J untuk kondisi <i>free running</i>	33
Tabel 4.8. Hasil Pembacaan diagram untuk <i>open water test</i> Ka 4- 70 in nozzle 19A	36
Tabel 4.9. Hasil pembacaan pada <i>open water test</i> kondisi <i>rough hull (towing)</i>	38
Tabel 4.10. Hasil pembacaan pada <i>open water test</i> kondisi <i>rough hull (free running)</i>	38
Tabel 4.11. Hasil perhitungan power pada masing-masing putaran saat <i>towing</i>	39
Tabel 4.12. Hasil perhitungan power pada masing-masing putaran saat <i>free running</i>	39
Tabel 4.13. Nilai putaran engine di berbagai alternatif rasio gearbox (<i>towing</i>)	41
Tabel 4.14. Nilai putaran engine di berbagai alternative rasio gearbox (<i>free running</i>)	42
Tabel 4.15. Data SFOC Engine Caterpillar WOSR	46
Tabel 4.16. Data SFOC Engine Cummins	46
Tabel 4.17. Waktu operasi tug boat setiap mode operasi	46
Tabel 4.18. Tabel Hasil Perbandingan FOC Caterpillar dan Cummins	47

Halaman ini sengaja di kosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Grafik Engine Performance dari Caterpillar WOSR ..	3
Gambar 2.1. Proses pembakaran motor diesel	10
Gambar 2.2. Fuel injection too early	11
Gambar 2.3. Fuel injection too late	11
Gambar 2.4. Aliran Energi pada Motor Penggerak	14
Gambar 2.5. Grafik Hubungan Engine Torque dan Engine Speed	16
Gambar 2.6. Grafik Hubungan Engine Power dan Engine Speed.	16
Gambar 4.1. Pengeplotan nilai Kt pada grafik propeller	28
Gambar 4.2. Kt-J Curve saat <i>towing</i>	34
Gambar 4.3. Kt-J Curve saat <i>free running</i>	34
Gambar 4.4. Pembacaan Open Water Test Curve untuk tipe propeller Ka 4-70 in nozzle 19A	35
Gambar 4.5. Hasil pembacaan Open Water Test Curve	37
Gambar 4.6. Pengeplotan Kt-J Curve pada Oper water test curve (<i>towing</i>)	37
Gambar 4.7. Pengeplotan Kt-J Curve pada Oper water test curve (<i>free running</i>)	38
Gambar 4.8. Grafik antara daya dan putaran saat <i>towing</i>	40
Gambar 4.9. Grafik antara daya dan putaran saat <i>free running</i>	41
Gambar 4.10. Engine Propeller Matching	42
Gambar 4.11. Engine Envelope dari engine pembanding	43
Gambar 4.12. EPM dengan 2 engine yang berbeda dan SFOC	44
Gambar 4.13. Pemilihan propeller curve pada SFOC yang paling rendah	45

Halaman ini sengaja di kosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tug boat adalah sebuah kapal yang digunakan sebagai penarik dan pendorong kapal. Pada dasarnya tug boat digunakan untuk melayani kapal - kapal besar yang akan bersandar ataupun berlabuh di pelabuhan dan juga melayani kapal - kapal pengangkut hasil tambang salah satu contohnya untuk mengangkut batu bara. Kebutuhan akan jenis kapal tersebut akan terus bertumbuh seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan angkutan batu bara dan mineral di Indonesia.

Berdasarkan tempat dan kinerja tug boat, terdapat 3 jenis tug boat yaitu :

1. *Ocean Going* (Tug Boat Untuk Pelayaran Bebas)

Fungsi dan peran dari tug boat untuk pelayaran bebas yaitu menarik atau mendorong kapal yang tidak memiliki alat penggerak sendiri seperti crane apung, dok apung atau alat apung lainnya yang berada di laut dengan jarak yang jauh.

2. *Harbour Tug* (Tug Boat Untuk Pelabuhan)

Tug boat pelabuhan tentunya beroperasi di pelabuhan. Fungsi dan peran dari tug boat untuk pelabuhan yaitu menarik atau mendorong kapal dari laut untuk di rapatkan (di sandarkan) di pelabuhan dan sebaliknya.

3. *River Tug* (Tug Boat Perairan Dangkal dan Sungai)

Tug boat ini beroperasi di perairan yang dangkal sekalipun memasuki sungai yang mendekati hulu. Tidak terlalu membutuhkan tingkat manuever yang baik tetapi daya dorong yang besar.

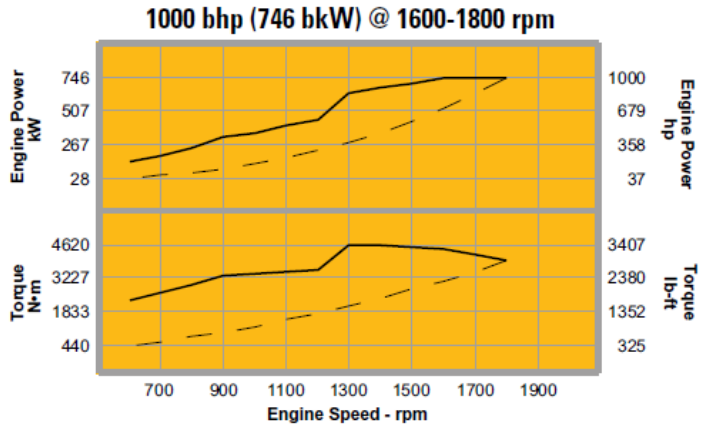
Dalam pelaksanaannya, menurut posisi kerjanya dibedakan menjadi 3 diantaranya :

- *Towing Tug Boat* (Tug Boat Tarik)
- *Pushing Tug Boat* (Tug Boat Dorong)
- *Side Tug Boat* (Tug Boat Tempel)

Salah satu tantangan di dalam teknologi penggerak kapal tug boat pada posisi *towing* atau *pusher* adalah mendapatkan

unjuk kerja tug boat (*vessel performance*) yang paling optimum saat beroperasi *towing* (menarik muatan penuh) dan *free running* (menarik muatan kosong). Tahanan pada barge yang beroperasi pada kondisi beban penuh (*towing*) akan lebih besar bila dibandingkan dengan kondisi barge yang dioperasikan pada beban kosong (*free running*). Perbedaan tahanan ini akan ditanggung oleh tug boat yang akan menarik barge tersebut. Pada saat kondisi *towing* dan *free running* tug boat membutuhkan kecepatan yang sesuai. Perubahan kecepatan ini akan menyebabkan perubahan putaran dan daya sehingga berdampak pada konsumsi bahan bakar.

Selama ini, solusi yang ditawarkan dengan memodifikasi sistem propulsi dari segi desain propeller yaitu *ducted propeller* atau *kort nozzle* yang mampu menambah gaya dorong pada saat muatan penuh. Tetapi saat muatan kosong justru menambah tekanan saat beroperasi. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi lain untuk tidak menghambat tug boat saat beroperasi. Caterpillar C32 ACERT Marine Propulsion mengenalkan berbagai variasi yang dinamakan WOSR rating. WOSR singkatan dari *Wide Operating Speed Range* adalah salah satu bagian dari *electronic engine*. Konsep utamanya pada putaran engine 1600 rpm sampai 1800 rpm, governor akan bekerja pada kecepatan *idle* sehingga power yang dihasilkan akan flat (dapat dilihat pada gambar 1.1).



Gambar 1.1. Grafik Engine Performance dari Caterpillar WOSR

Pada gambar 1.1 menjelaskan bahwa diantara putaran 1600-1800 rpm menunjukkan daya yang dihasilkan engine flat atau tetap dengan kenaikan torsi dan cadangan daya untuk percepatan. Mesin WOSR Caterpillar menawarkan lebih banyak fleksibilitas untuk aplikasi yang membutuhkan operasi pada lebih dari satu kecepatan atau beban dan menawarkan alternatif yang jauh lebih murah untuk baling - baling pitch terkendali, konverter torsi dan transmisi multi -kecepatan.

Dalam penelitian ini akan digunakan engine Caterpillar C32 Acert Marine Propulsion Engine 1000 bhp 746 kW WOSR 1600-1800 rpm sebagai main engine dari tugboat berukuran 29 meter. Metode penelitian yang digunakan metode analisa data dari perhitungan *Engine Propeller Matching* dan perbandingan dengan engine lain. Penelitian yang dilakukan dilakukan bertujuan untuk menghasilkan sebuah performance engine yang paling optimal dengan konsumsi bahan bakar yang paling rendah saat tugboat itu beroperasi.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian adalah :

1. Bagaimana performa dari kapal tug boat dengan menggunakan engine Caterpillar WOSR tipe C32 ACERT?
2. Bagaimana perbandingan konsumsi bahan bakar dari kapal tug boat yang menggunakan Caterpillar WOSR tipe C32 ACERT dan Cummins tipe KTA38-MI?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini bisa lebih fokus, yaitu :

1. Analisa dilakukan untuk kapal tug boat 26.82 meter dengan bollard pull 27 ton, load profile dengan barge 92.86 meter (8000 ton) dari Banjarmasin – Surabaya dengan memakai mesin Caterpillar C32 Acert Marine Propulsion Engine 1000 bhp 746 bkW WOSR 1600-1800 rpm.

1.4. Tujuan Skripsi

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk :

1. Menemukan performa (unjuk kerja) kapal tug boat yang paling optimal dengan menggunakan Caterpillar WOSR sebagai main propulsion engine.
2. Menemukan konsumsi bahan bakar yang paling efisien antara yang menggunakan Caterpillar WOSR dan non-WOSR.

1.5. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan skripsi ini adalah :

1. Mengetahui performa kapal tug boat yang paling optimal menggunakan mesin Caterpillar WOSR.
2. Mengetahui konsumsi bahan yang paling efisien antara tug boat yang memakai Caterpillar WOSR dan non-WOSR.

1.6. Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang masalah, pembatasan masalah yang dibahas, serta tujuan dan manfaat dibuat skripsi ini.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Dalam tinjauan pustaka, memuat informasi dan data yang diperlukan dalam pembuatan skripsi ini. Referensi yang didapatkan berasal dari sumber internet, jurnal, makalah ataupun materi lain yang mendukung. Isi tinjauan pustaka secara garis besar ada tiga pokok bahasan utama yaitu mengenai engine Caterpillar WOSR, pengaplikasiannya di kapal tug boat sebagai main propulsion system, dan performa dari kapal tug boat.

BAB III : METODOLOGI

Berisikan tentang bagaimana langkah-langkah dalam menyelesaikan skripsi ini mulai dari mengumpulkan data kapal tug boat dan barge, data propeller tipe FPP kort nozzle, menghitung daya di saat bollard test, free running, dan tugging, kemudian memilih sistem propulsi yang optimum dan terakhir membuat kesimpulan dan saran.

BAB IV : ANALISA & PEMBAHASAN

Pada analisa dan pembahasan dilakukan pengumpulan data, pengolahan data dan membahas perhitungan yang didapat.

BAB V : KESIMPULAN & SARAN

Pada bagian ini merupakan bagian akhir dari penyelesaian skripsi yang dikerjakan. Pada bab ini diambil kesimpulan dari skripsi serta saran untuk kemajuan ke depannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Tug Boat

Kapal tunda merupakan jenis kapal khusus yang digunakan untuk menarik atau mendorong kapal di pelabuhan, laut lepas atau melalui sungai. Kapal ini digunakan pula untuk menarik tongkang, kapal rusak dan peralatan lainnya dan memiliki tenaga yang besar bila dibandingkan dengan ukurannya.

Sesuai dengan daerah pelayarannya (*menurut Tasrun Sjahrin*) kapal tunda dapat digolongkan menjadi :

- a. Kapal tunda pelayaran besar (*Ocean Going Tug*), merupakan salah satu jenis kapal tunda yang daerah pelayarannya di laut luar dan kapal ini biasanya digunakan sebagai penyuplai bahan bakar dari hasil kilang minyak (*Anchor Handling Suplay Vessel*).
- b. Kapal tunda pelayaran pantai (*Coastwise and Estuary Tug*) merupakan jenis kapal tunda yang daerah pelayarannya hanya disekitar perairan pantai.
- c. Kapal tunda pelabuhan dan pengerukan (*Estuary and Harbour*) merupakan salah satu jenis kapal tunda yang digunakan untuk menarik atau mendorong kapal yang ada di pelabuhan dan juga berfungsi sebagai penarik kapal keruk.
- d. Kapal tunda perairan dangkal (*Shallow Draught Pusher Tug*) merupakan jenis kapal tunda yang memiliki sarat rendah.
- e. Kapal tunda sungai dan dok (*River and Dock Tug*) merupakan jenis kapal tunda yang memiliki kemampuan tarik kurang dari 3 knot dan hanya menunda kapal disekitar area sungai.

Bangunan kapal tunda hampir sama dengan bangunan kapal barang. Hanya saja tidak dilengkapi dengan palka barang besar, sehingga ukurannya lebih kecil untuk tenaga penggerak

yang sama. Karena kapal tunda dirancang untuk dapat melakukan bermacam pekerjaan seperti menarik, menunda, menggandeng dan menambatkan kapal – kapal dan alat apung lainnya yang mempunyai bobot yang jauh lebih besar. Begitu pula dengan konstruksinya dirancang lebih kuat untuk menahan getaran, pada kapal tunda dilengkapi dengan peralatan tarik seperti *towing hook*, *stabilizher guilding ring*, *towing beam*, dan juga derek tambang tarik pada geladak tengah kapal.

Jenis kapal tunda yang dibahas pada karya tulis ini adalah kapal tunda pelayaran pantai (*coastwise and estuary tug*), jenis kapal ini hampir sama dengan kapal tunda pelayaran besar, hanya lokasi penggunaannya terbatas. Karena itu persyaratan pembangunan kapal tunda ini sama dengan kapal tunda untuk pelayaran besar.

Tenaga penggerak kapal tunda ini biasanya didasarkan pada permintaan pemilik yang umumnya bervariasi antara 300 – 1500 HP dengan kecepatan kurang dari 10 knot. Hampir semua sistem propulsinya memakai satu atau dua baling – baling dengan tenaga penggerak berupa motor diesel yang dapat dikendalikan langsung, baik untuk tenaga kecil maupun tenaga besar.

Daya dorong propeller ditentukan oleh V_A , V_B , A_o (*Luas discus propeller*), ini menunjukkan bahwa efisiensi propeller bergantung pada putaran dan diameter. Putaran propeller pada kapal tugboat tidak sama dengan jenis kapal yang lain karena memiliki diameter yang besar dengan putaran relatif lebih rendah.

Secara umum kecepatan kapal ditentukan oleh besar daya mesin dan tipe propeller, oleh karena itu pada saat perencanaan kapal baru, kecepatan kapal sudah ditentukan untuk memprediksikan sistem propulsi yang dipergunakan. Untuk mengetahui daya mesin sebuah kapal terlebih dahulu harus diketahui tahanan total kapal dan mengacu pada dimensi kapal atau bentuk badan kapal. Perubahan kecepatan akan

berdampak pada perbedaan daya mesin dalam hal ini yaitu nilai *Brake Horse Power* (BHP) kapal tersebut.

Tug boat memiliki konstruksi yang sangat kuat serta kemampuan daya engine yang besar. Tug boat tidak memerlukan kecepatan yang tinggi, tetapi lebih menitik beratkan pada kemampuan daya yang terpasang dan kemampuan bollard pull untuk menarik ataupun mendorong suatu kapal (beban yang ditarik/didorong). Bollard pull adalah kemampuan daya tarik tug boat menarik suatu beban. Bollard pull dihasilkan dari daya engine yang dikombinasikan dengan thrust propeller (Daya Dorong Baling-baling). Pada kondisi riil, sering terjadi ketidaksesuaian kemampuan bollard pull antara permintaan bollard pull oleh owner dengan hasil yang dicapai setelah dilakukan bollard pull test (Test Bollard Pull/Uji Tarik). Ketidaksesuaian ini selain karena tidak ada kesesuaian antara daya engine yang terpasang dengan *thrust* propeller yang dihasilkan, juga karena ketidaksesuaian bentuk kontur lambung atau bentuk badan kapal yang dipengaruhi dengan ukuran utama kapal. Bentuk badan kapal yang tidak sesuai akan menghasilkan aliran air yang dapat menghambat *supply* propeller. Pada saat mendesain tug boat seharusnya kemampuan bollard pull paling tidak dapat menghasilkan kinerja yang mampu berkorelasi secara optimal sesuai dengan ukuran utama tug boat, kapasitas daya engine yang terpasang serta thrust propeller yang dihasilkan.

Untuk mencari nilai bollard pull pada kapal tug boat dengan tipe propeller FPP (*Fix Pitch Propeller*) dan *kort-nozzle* digunakan pendekatan sebagai berikut :

$$t = \text{BHP} \times 0.9 \times 1.2 / 100 \quad \text{ton} \dots \dots \dots (\text{pers. 2.1})$$

Keterangan :

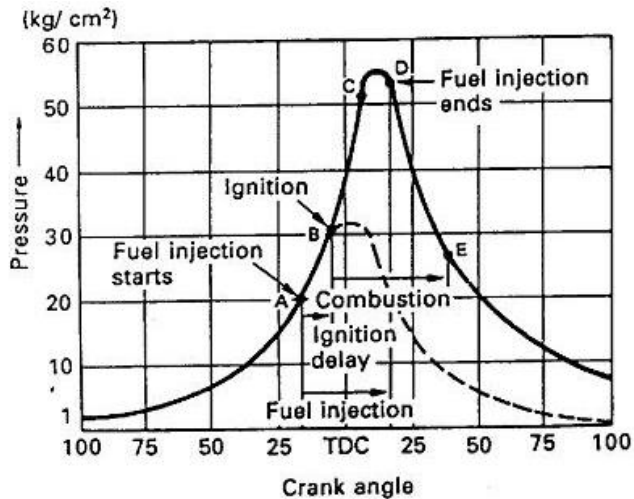
t = Kemampuan Bollard (ton)

BHP = Daya engine yang dibutuhkan (HP)

1.2. Caterpillar WOSR

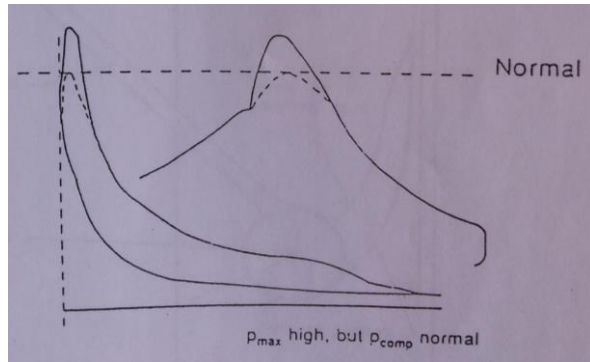
1.2.1. Fase Pembakaran

Berikut adalah diagram fase pembakaran dari mesin diesel.



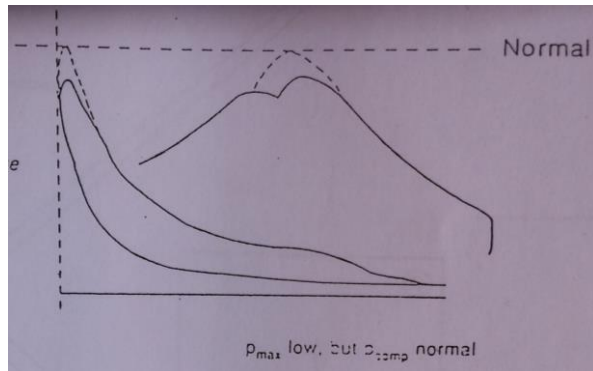
Gambar 2.1. Proses pembakaran motor diesel
Sumber : Swisscontact, 2000

Pada titik A tersebut bahan bakar mulai disemprotkan ke ruang bakar. Pada fase inilah biasanya diatur mengenai waktu penyemprotan bahan bakar ke ruang bakar yang dinamakan *Injection Timing*. *Timing* penyemprotan sangat berpengaruh pada kualitas pembakaran. Sudut penyemprotan yang semakin awal akan menyebabkan laju kenaikan tekanan pembakaran semakin cepat, hal ini membuat semakin awal sudut penyemprotan semakin tinggi tekanan pembakaran dalam silinder. Dapat ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. *Fuel injection too early*
 Sumber : IMarE, 2001

Jika *timing* penyemprotan terlambat, maka waktu yang dibutuhkan bahan bakar untuk terbakar menjadi sempit, bahan bakar dapat terbakar di knalpot atau saluran *exhaust*, hal ini yang sering menyebabkan pipa exhaust membara karena tinggi temperatur gas buang, sering sekali menjadi penyebab terjadinya derating pada prestasi motor diesel. Dapat ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. *Fuel injection too late*
 Sumber : IMarE, 2001

Dari kedua permasalahan waktu penyemprotan bahan bakar ke ruang bakar yang sudah dibahas diatas maka

diciptakan solusi untuk mengatur supaya *injection timing* bisa konstan yang artinya tidak terlambat maupun terlalu cepat sehingga bisa menghasilkan power yang konstan.

Wide Operating Speed Range (WOSR) adalah fitur khusus yang ditawarkan oleh Caterpillar pada berbagai aplikasi mesin. Caterpillar menawarkan keunggulan kompetitif bagi pelanggan, memberikan mereka fleksibilitas untuk mengoperasikan kapal mereka dengan kekuatan penuh pada rentang kecepatan yang luas agar dapat memberikan efisiensi yang baik.

Kinerja WOSR dicapai dengan menggunakan 1600 RPM mesin dinilai kecepatan nominal tetapi memungkinkan kekuatan untuk dipertahankan pada tingkat yang sangat tinggi hingga 1800 RPM dalam kurva overrun go. Hasil akhirnya adalah garis kurva yang datar atau bisa dikatakan daya konstan dari sekitar 1600 rpm sampai 1800 rpm dengan kenaikan torsi dan cadangan daya untuk percepatan.

Untuk aplikasi propulsi, baling - baling harus ukuran untuk kondisi beban penuh nominal pada 1600 rpm, namun keuntungan nyata datang ketika kapal berada di bawah kondisi berjalan bebas. Karena mesin mempertahankan tingkat daya tinggi untuk 1.800 rpm, baling - baling yang diperbolehkan untuk berjalan pada kecepatan yang jauh lebih tinggi yang akan menghasilkan kecepatan kapal meningkat dalam kondisi berjalan bebas.

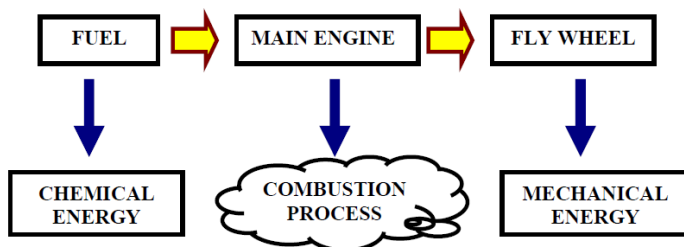
Ini berarti bahwa output mesin kekuatan nominal (tanpa penurunan) berbagai macam kecepatan. Ini alternatif untuk gearbox *multi-speed* atau CPP untuk kapal tunda atau mengeruk. (*fanam77, Caterpillar Employee 2009*).

Dari paper yang ditulis oleh Heru Hermawan yang berjudul "THE BENEFIT OF "WOSR" RATING

IN C32 ACERT MARINE PROPULSION” mengatakan bahwa WOSR memiliki kinerja yang unggul saat dipasang di kapal tugboat. Keuntungan kinerja yang unggul pada kedua kondisi towing-mode dan kondisi bebas berjalan. WOSR sebagai laju injeksi bahan bakar secara mekanik dikontrol sedangkan C32 ACERT memiliki *electronic fuel injection* dikendalikan. Injeksi bahan bakar elektronik yang dikendalikan dengan mudah dapat menggunakan informasi sinyal input dari *turbo boost pressure*, suhu bahan bakar, dan rpm mesin yang dikembangkan untuk menentukan kapan dan berapa banyak bahan bakar yang harus disuntikkan ke setiap silinder untuk memastikan performa mesin memenuhi kondisi tersebut.

1.3. Vessel Performance

Vessel performance bisa dikatakan sebagai kinerja suatu kapal yang berbasis keefektifan operasional dan efisiensi biaya dari kapal. Keefektifan operasional salah satunya dipengaruhi oleh performa dari mesinnya sendiri. *Engine performance* di kapal sendiri melibatkan beberapa tahapan sebagai berikut.



Gambar 2.4. Aliran Energi pada Motor Penggerak
Sumber : S.W. Adji – *Engine Propeller Matching*, 2005

Tahap yang pertama adalah *energy* dari *fuel* (bahan bakar), seperti yang ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut ;

$$P_{ENG} = \dot{m}_{fuel} \times C_f \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.2)}$$

dimana :

- P_{ENG} = *Engine Power* (Daya Motor Penggerak)
- \dot{m}_{fuel} = *mass fuel rate* (Laju Aliran Bahan Bakar)
- C_f = *Calorific Value of Fuel* (Nilai Kalor Bahan Bakar)

Pers. (1) merepresentasikan bahwa besarnya *engine power* adalah *proporsional* dengan banyaknya jumlah bahan bakar yang disuplai ke *engine*. Sedangkan, jumlah dari bahan bakar yang disuplai adalah tergantung pada pengaturan di- *engine fuel setting* (*fuel stroke position*).

Di tahap yang kedua (*Combustion Process*), *engine power* dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$P_{ENG} = bmep \times L \times A \times n \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.3)}$$

dimana :

- $bmep$ = *Brake mean effective pressure*
- L = *Langkah Torak (Length of stroke)*
- A = *Area of piston-bore* (Luasan torak)
- N = *Rate of power strokes*

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa besarnya *engine power* sangat tergantung dari besarnya *bmep* yang terjadi pada *engine*, karena harga L , A , dan n pada suatu *engine* adalah sudah tetap. Sehingga dengan kata lain, besarnya *engine power* adalah *proporsional* dengan nilai dari *bmep* yang terjadi.

Tahap yang ketiga adalah *engine power* yang diukur dengan metode pengereman di *engine test bed*, yangmana

merupakan *power output* dari *engine* seperti yang ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut ;

$$P_{ENG} = Q_{ENG} \times n_{ENG} \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.4)}$$

dimana :

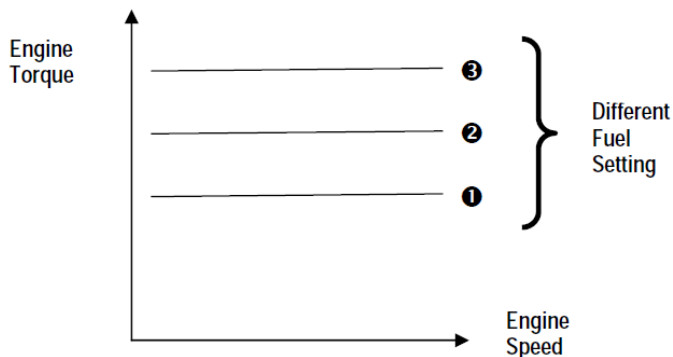
$$\begin{aligned} Q_{ENG} &= \text{Engine Torque} \\ n_{ENG} &= \text{Engine Speed} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan diatas tampak bahwa *perubahan yang signifikan* dari *engine power* hanya dapat dilakukan dengan merubah nilai dari *engine torque*-nya. Masing - masing variabel potensial pada ketiga persamaan diatas memiliki keterikatan dan pengaruh secara *proporsional*, sehingga kondisi tersebut dapat disederhanakan sebagai berikut ;

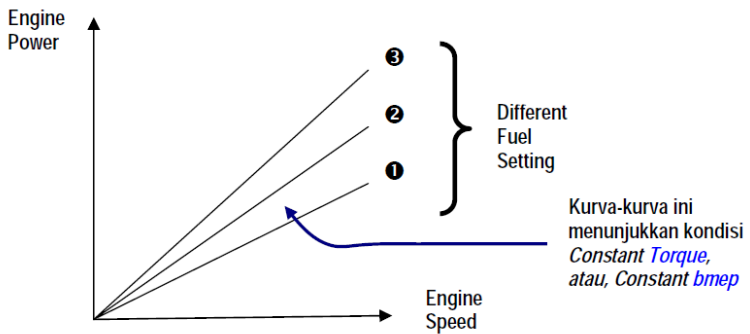
$$fuel\ m \propto bmep \propto Q_{Eng}$$

Artinya “Nilai **Engine Torque** (Q_{Eng}) akan secara signifikan berubah, apabila pada proses pembakaran didalam silinder terjadi perubahan harga **Brake Mean Effective Pressure** (*bmep*). Dan perubahan harga *bmep* tergantung pada jumlah **Mass Fuel Rate** ($fuel\ m\bullet$) yang disuplai ke engine”.

Hubungan *engine torque* dan *engine speed* dapat diilustrasikan seperti gambar 2.5.



Gambar 2.5. Grafik Hubungan Engine Torque dan Engine Speed
 Sumber : S.W. Adji – *Engine Propeller Matching*, 2005



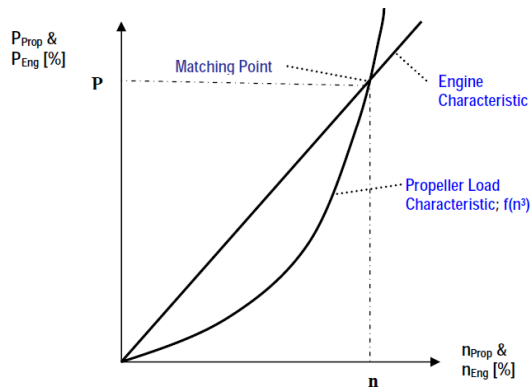
Gambar 2.6. Grafik Hubungan Engine Power dan Engine Speed
 Sumber : S.W. Adji – *Engine Propeller Matching*, 2005

Sementara itu, gambar 2.6. me-representasikan hubungan antara *engine power* dan *engine speed*. Perubahan pada engine power tergantung pada *fraction engine torque*, atau, *bmep*.

1.4. Engine Propeller Matching

1.4.1. Matching Point

Matching point merupakan suatu titik operasi dari putaran motor penggerak kapal (*engine speed*) yang sedemikian hingga tepat (*match*) dengan karakter beban baling - baling, yaitu titik operasi putaran motor dimana *power* yang di-*absorb* oleh propeller sama dengan *power produced* oleh engine dan menghasilkan kecepatan kapal yang mendekati (sama persis) dengan kecepatan servis kapal yang direncanakan. Karakteristik Propeller dan karakteristik *engine* digambarkan pada kurva berikut ini;



Gambar 2.4.1. *Matching Point Engine dan Propeller*
 Sumber : S.W. Adji – *Engine Propeller Matching*, 2005

Pada *engine speed*, n , adalah merupakan titik operasi putaran motor penggerak yang sesuai dengan kondisi beban propeller, sebab, *daya yang dihasilkan oleh motor penggerak* adalah sama dengan *daya yang diabsorb* oleh propeller, P . Hal ini tentunya akan memberikan konsekuensi yang optimal terhadap pemakaian konsumsi bahan bakar dari motor penggerak kapal terhadap kecepatan servis kapal yang diinginkan. Seperti diketahui bersama bahwa di kapal yang dapat dilihat adalah indikator *engine speed* (*rpm*, atau *rps*) dan kecepatan kapal (*knots*, atau *Nmile/hour*). Sehingga penetapan putaran operasi dari motor penggerak, merupakan “kunci” kesuksesan dalam operasional sistem propulsi kapal secara keseluruhan.

1.4.2. *Fuel Consumption*

Fuel consumption merupakan hal utama yang selalu jadi pertimbangan untuk pemilihan suatu alat karena secara umum *fuel consumption* penyumbang *cost* operasional yang paling besar.

Fuel consumption per jam dapat kita kalkulasikan sehingga kita dapat menghitung perkiraan operating cost per jam unit. Selain itu *fuel consumption* juga dapat kita jadikan data pendukung untuk analisis jika terjadi problem atau penurunan *performance* unit. Berikut ulasan singkat cara menghitung *fuel consumption*.

$$\text{FUEL CONSUMPTION} = \frac{N_e \times G \times \eta}{0.83 \times 1,000} \quad (4)$$

dimana,

- 0.83 : Specific gravity dari fuel
- N_e : Rated Output (HP)
- G : Fuel Consumption pada Rated Output (g/HP-hr)
- η : Load Factor (30 ~ 80 %), pada curve diatas load factor 100%.

Fuel consumption tergantung dari:

1. Beban (misal dozing, stripping dll),
2. Posisi throttle,
3. Kemahiran operator,
4. Kondisi engine, apakah ada penurunan performance.

BAB III METODOLOGI

1.1. Umum

Metodologi penulisan dimaksudkan untuk menjadi sebuah kerangka dasar sebagai acuan atau pedoman dalam menyelesaikan permasalahan yang akan diselesaikan. Penyusunan dari metodologi ini bertujuan untuk menyelesaikan persoalan pada skripsi yang telah disusun.

Beberapa langkah yang dilakukan dalam proses penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran menyeluruh tentang skripsi yang akan dikerjakan. Diantaranya dengan mengumpulkan referensi terkait buku, jurnal, makalah, paper maupun informasi dari internet yang berhubungan dengan kinerja kapal tug boat, khususnya pada penentuan performance yang paling optimal untuk kapal *sea tug boat*.

2. Pengumpulan data

Kegiatan ini dilakukan untuk mencari dan mengumpulkan data-data yang diperlukan dalam mengerjakan skripsi. Data yang diperlukan meliputi data kapal tug boat dan tongkang, data propeller, data engine yang akan digunakan, data kapal pembanding untuk mencari konsumsi bahan bakarnya, dan sebagainya.

3. Perhitungan EPM

Metode yang digunakan dalam pemilihan gearbox dan propeller berpedoman pada perhitungan tahanan propulsi Holtrop untuk mendapatkan *Engine Propeller Matching*.

4. Analisa Performance

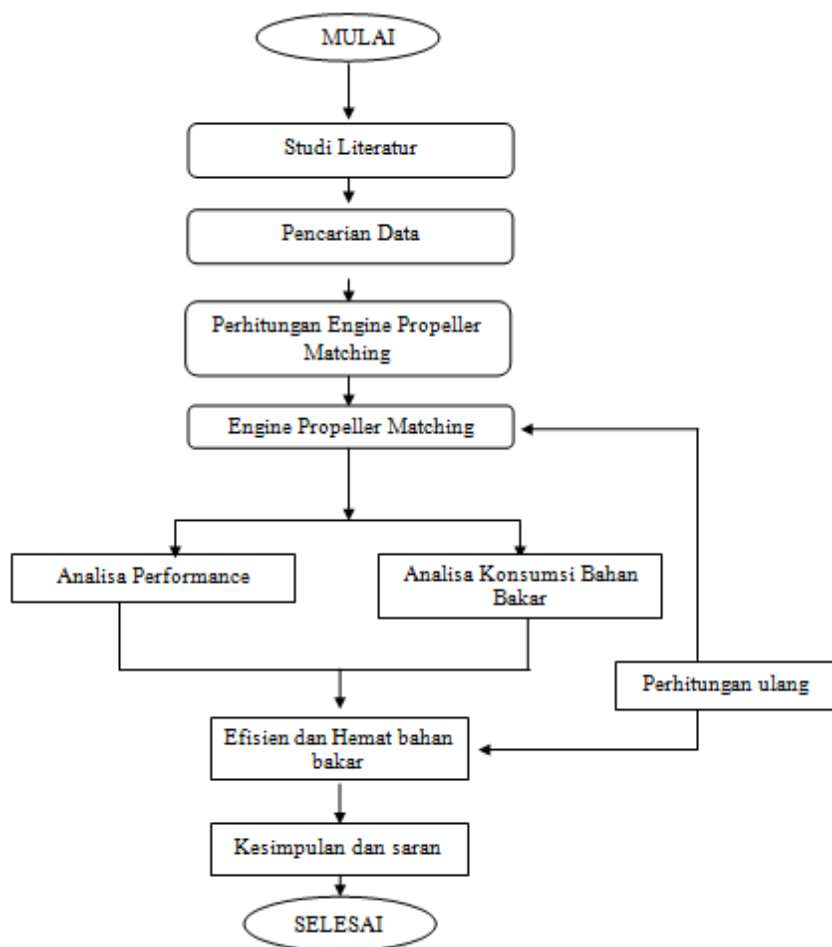
Analisa performance dilakukan untuk mengetahui kinerja dari kapal tug boat yang meliputi putaran, power dan konsumsi bahan bakar yang paling rendah sehingga dapat diketahui kinerja kapal yang paling optimal berada di titik mana. Selain itu dapat dibandingkan dengan kapal lain yang menggunakan jenis mesin yang berbeda dengan mensimulasikan :

1. Variasi kecepatan
2. Variasi rasio gearbox

5. Kesimpulan

Akhir dari pengerjaan skripsi ini yaitu menyusun laporan dan membuat kesimpulan dari rumusan masalah tersebut diatas.

1.2. Diagram Pengerjaan Skripsi



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Dalam bab ini akan dibahas mengenai detail langkah perhitungan dan pembahasan yang akan didapatkan kesimpulan yang merujuk pada latar belakang masalah, batasan dan tujuan ditulisnya skripsi ini. Perhitungan dalam bab ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari tug boat yang memakai engine CAT WOSR yang paling efisien serta hemat bahan bakar. Kemudian dibandingkan dengan memakai engine lain yang non-WOSR.

4.2. Data Kapal

Untuk mengetahui performa tug boat yang paling optimal maka data kapal yang digunakan harus diketahui terlebih dahulu. Berikut merupakan data tug boat dan tongkang yang akan dihitung dalam skripsi ini.

- a. Nama Kapal : 26 M T. S. TUG
 - Tipe Kapal : Tug Boat
 - LOA : 26 m
 - LPP : 25.06 m
 - Lwl : 26.82 m
 - B : 8 m
 - H : 4.3 m
 - T : 3.3 m
 - Cb : 0.57 m
 - Bollard Pull : 27 ton

- b. Nama Kapal : 300' x 80' x 18' BARGE
 - Tipe Kapal : Tongkang/ Barge
 - LOA : 100 m
 - Lwl : 92.86 m
 - B : 80 m
 - H : 6 m

T : 18 m
Cb : 0.95

4.3. Data Engine dan Propulsor

Data engine dan propulsor yang akan digunakan pada tug boat dengan *bollard pull* 27 ton adalah sebagai berikut :

Main engine : 2 x 1000 BHP Caterpillar C32 ACERT
Rpm : 1600 - 1800 RPM (WOSR)
Gearbox Ratio : 6.1 (referensi kapal sebelumnya)
Jenis Propulsor : Kaplan Series (FPP+Kort Nozzle)

4.4. Langkah Mendesain Propeller

4.4.1. Pemilihan propeller pada kondisi Bollard Test

Propeller yang akan digunakan dipilih pada saat kondisi *full bollard pull*. Karena yang dihitung ini merupakan kondisi saat *bollard test*, maka kecepatan (V_s) adalah 0, hal itu dikarenakan pada *bollard test* kapal menarik beban sampai kapal tidak bisa bergerak lagi untuk dapat memenuhi nilai 27 ton, sehingga pada kondisi ini nilai dari tahanan akan sama dengan nilai kemampuan maksimum *bollard pull*.

Diketahui :

$D_{prop} = 2.2$ m (dari skala gambar pada GA)

- Menentukan putaran propeller dengan rasio gearbox tertentu. Rasio gearbox ditentukan mengacu pada referensi kapalnya yaitu 1:6.1 dan dihitung menggunakan rumus sebaga berikut :

$$N_p = N_E / \text{Rasio Gearbox}$$

Keterangan :

N_p = Putaran Propeller (rpm)

N_E = Putaran Engine (rpm)

Jadi,

$$\begin{aligned}N_p &= N_E / \text{Rasio Gearbox} \\&= 1700 \text{ rpm} / 6.1 \\&= 278.69 \quad \text{rpm} \\&= 4.6448 \quad \text{rps}\end{aligned}$$

- Menghitung *Thrust* propeller

Thrust propeller merupakan daya dorong yang diberikan propeller untuk melawan tahanan kapal. Tahanan kapal disini merupakan tahanan dari bollard pull tug boat itu sendiri, dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$T = R_t / (1 - t)$$

Keterangan :

T = *Trust* Propeller (gaya dorong) (kN)

R_t = Tahanan Kapal saat *Bollard Test* (kN)

Dimana :

$$\begin{aligned}R_t &= 27 \quad \text{ton} \\&= 13.5 \quad \text{ton (untuk 1 propeller)} \\&= 132.435 \quad \text{kN}\end{aligned}$$

Nilai t (*Trust Deduction Factor*) dan w (*wake fraction*) untuk twin screw :

$$\begin{aligned}t &= 0.325 C_b - 0.1885 D / (BT)^{0.5} \\&= 0.095 \\w &= 0.3095 C_b + 10 C_v C_b - 0.23 D / \sqrt{BT} \\&= 0.092\end{aligned}$$

Sehingga nilai T diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned}T &= R_t / (1 - t) \\&= 132.435 \text{ kN} / (1 - 0.095) \\&= 146.337 \quad \text{kN}\end{aligned}$$

- Menghitung nilai K_t propeller atau Koefisien Thrust dari propeller

$$K_t = T / (\rho \times N_p^2 \times D^4)$$

Keterangan :

KT = Koefisien Trust Propeller

T = Trust Propeller (kN)

ρ = massa jenis air laut (1,025 kg/m³)

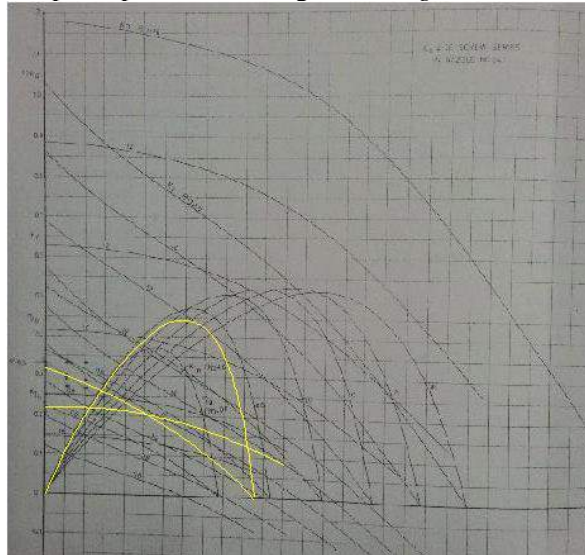
D = Diameter Propeller (m)

Np = Putaran Propeller (Rpm)

Maka nilai Kt dapat diketahui sebagai berikut :

$$\begin{aligned} K_t &= T / (\rho \times N_p^2 \times D^4) \\ &= 146.337 \text{ kN} / (1.025 \text{ kg/m}^3 \times 4.6448^2 \\ &\quad \text{rpm} \times 2.2^5 \text{ m}) \\ &= 0.28 \end{aligned}$$

- Dari nilai $K_t = 0.28$, akan dicari nilai P/D dari masing-masing tipe propeller yang sesuai dengan kondisi saat bollard pull 27 ton. Jenis propeller yang digunakan adalah tipe Kaplan series dengan *ducting*.



Gambar 4.1. Pengeplotan nilai Kt pada grafik propeller

Dari gambar 4.1 menjelaskan bahwa nilai $K_t = 0.28$ yang diplotkan pada kurva *open water test* salah satu tipe propeller Ka 4-70 in Nozzle 19A menunjukkan nilai $P/D = 0.67$. Selanjutnya hal yang sama dilakukan pada tipe propeller yang lain.

- Dari hasil P/D yang didapat kemudian dicari nilai Koefisien Torsi (KQ) dari grafik masing-masing propeller. Caranya sama dengan mengeplotkan nilai P/D yang didapat. Dari masing-masing nilai $10KQ$ yang didapat, akan dihitung nilai Q (torsi) propeller dengan rumus berikut :

$$Q = KQ \times \rho \times Np^2 \times D^4$$

Dimana :

Q = Torsi (Nm)

ρ = massa jenis air laut ($1,025 \text{ kg/m}^3$)

D = Diameter Propeller (m)

n = Putaran Propeller (Rpm)

KQ = Koefisien Torsi

- Dari nilai torsi yang didapat maka bisa dicari berapa besar daya yang diserap propeller untuk menghasilkan daya dorong atau biasanya disebut DHP (*Delivery Horse Power*).

$$Q = \frac{DHP}{2\pi \times n}$$

$$DHP = Q \times 2\pi \times n$$

Keterangan :

DHP : *Delivery Horse Power* (kW)

Q : Torsi (Nm)

π : 3.14

n : putaran propeller (rps)

- Hasil dari perhitungan DHP pada setiap tipe propeller (Kaplan series) dapat ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Pemilihan Propeller

Tipe Propeller	KT	P/D	KQ	Q	DHP (1 prop)	DHPtotal
Ka 3-65 in Nozzle 19A	0.28	0.69	0.021	23.93273	698.10334	1396.207
Ka 4-70 in Nozzle 19A	0.28	0.67	0.02	22.79308	664.860324	1329.721
Ka 4-70 in Nozzle 22	0.28	0.7	0.021	23.93273	698.10334	1396.207
Ka 4-70 in Nozzle 24	0.28	0.7	0.02	22.79308	664.860324	1329.721
Ka 4-55 in Nozzle 19A	0.28	0.69	0.022	25.07238	731.346356	1462.693
Ka 5-75 in Nozzle 19A	0.28	0.68	0.021	23.93273	698.10334	1396.207

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa nilai P/D dan KQ dari masing-masing tipe propeller yang berbeda dengan nilai KT yang sama. Propeller yang dipilih adalah tipe Ka 4-70 in Nozzle19A, karena memiliki nilai DHP yang paling kecil untuk mengatasi nilai *trust* yang sama diantara tipe propeller yang lain.

- Setelah menentukan tipe propeller yang dipilih, selanjutnya menentukan apakah engine yang dipilih matching dengan propeller yang dipilih atau tidak. Untuk itu perlu dibuktikan dengan kondisi saat *towing* dan *free running*.
- Menghitung nilai tahanan dari kapal tug boat kondisi *towing* dan *free running* dengan menggunakan metode Holtrop (*lampiran*). Dengan memvariasikan kecepatan service kapal (V_s), maka di dapat nilai tahanan di berbagai kecepatan seperti pada tabel 4.2 dan 4.3.

Tabel 4.2. Variasi nilai tahanan saat *towing* di berbagai kecepatan

Vs (knot)	Vs (m/s)	Va (m/s)	Rt (kN) 2 prop	Rt 1 prop (kN)
3	1.542	1.424808	871.513	435.7565
4	2.056	1.899744	866.707	433.3535
5	2.57	2.37468	865.697	432.8485
6	3.084	2.849616	868.399	434.1995
7	3.598	3.324552	875.051	437.5255

Tabel 4.3. Variasi nilai tahanan saat *free running* di berbagai kecepatan

Vs (knot)	Vs (m/s)	Va (m/s)	Rt (kN) 2 prop	Rt 1 prop (kN)
7	3.598	3.32	138.421	69.2105
8	4.112	3.80	495.889	247.945
9	4.626	4.27	697.421	384.711
10	5.14	4.75	794.857	397.429

Dari tabel 4.2 dan 4.3 dijelaskan pada kecepatan service yang berbeda maka dihasilkan nilai tahanan yang berbeda. Nilai tahanan tersebut yang akan digunakan untuk menghitung koefisien α dan β .

- Menghitung nilai koefisien α dan β saat kondisi service dengan menggunakan rumus berikut :

$$\alpha_{\text{service}} = R_t / V_s^2$$

$$\beta_{\text{service}} = \alpha / ((1-t) (1-w)^2 \rho D^2)$$

Dimana :

- Rt : Tahanan Kapal (kN)
- Vs : Kecepatan service kapal (knot)
- t : *Trust Deduction Factor*
- w : *Wake Fraction*

ρ : Massa Jenis Air Laut (1,025 kg/m³)

D : Diameter Propeller (m)

- Sehingga didapatkan hasil pada tabel 4.4 dan 4.5,

Tabel 4.4. Nilai koefisien α dan β pada masing-masing kecepatan saat kondisi *towing*

Vs (knot)	Rt (kN)	α service	β service
3	435.7565	48.4174	13.08
4	433.3535	27.0846	7.32
5	432.8485	17.3139	4.68
6	434.1995	12.0611	3.26
7	437.5255	8.9291	2.41

Tabel 4.5. Nilai koefisien α dan β pada masing-masing kecepatan saat kondisi *free running*

Vs (knot)	Rt (kN)	α service	β service
7	397.4285	8.1108	2.19
8	348.7105	5.4486	1.47
9	247.9445	3.0610	0.83
10	69.2105	0.6921	0.19

- Dari tabel 4.4 dan 4.5, nilai koefisien α dan β yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk mencari nilai koefisien thrust (KT) melalui rumus $K_t = \beta \times J^2$, sehingga diperoleh data seperti pada tabel 4.6 dan 4.7.

Tabel 4.6. K_t -J untuk kondisi *towing*

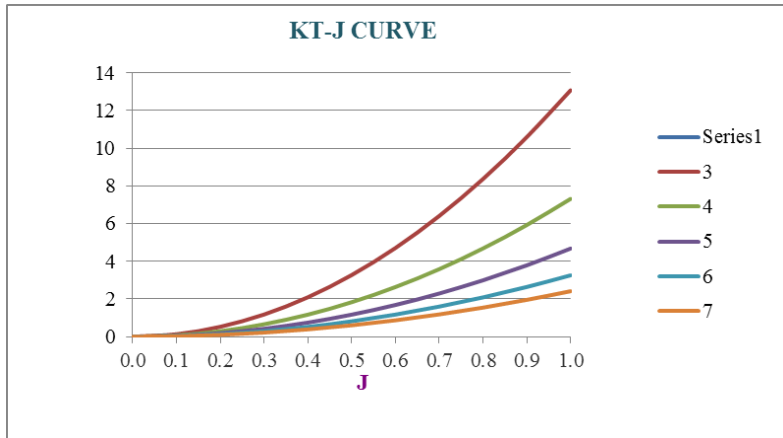
J	J^2	$K_{T \text{ service}}$				
		3	4	5	6	7
0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.1	0.01	0.131	0.073	0.047	0.033	0.024
0.2	0.04	0.523	0.293	0.187	0.130	0.096
0.3	0.09	1.177	0.659	0.421	0.293	0.217
0.4	0.16	2.093	1.171	0.748	0.521	0.386
0.5	0.25	3.270	1.829	1.169	0.815	0.603
0.6	0.36	4.709	2.634	1.684	1.173	0.868

0.7	0.49	6.409	3.585	2.292	1.597	1.182
0.8	0.64	8.371	4.683	2.994	2.085	1.544
0.9	0.81	10.595	5.927	3.789	2.639	1.954
1	1.00	13.080	7.317	4.677	3.258	2.412

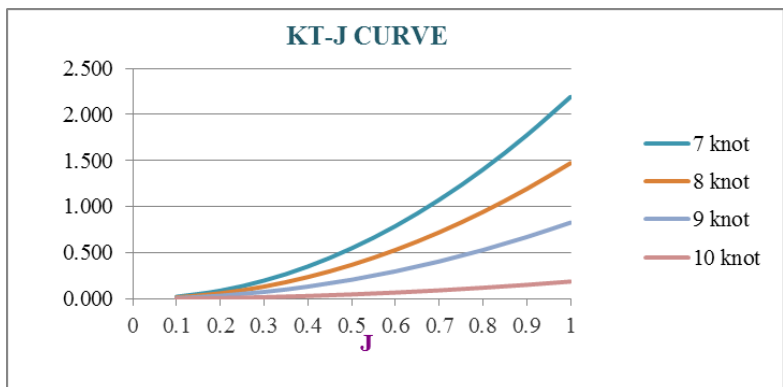
Tabel 4.7. Kt-J untuk kondisi *free running*

J	J ²	K _{T service}			
		7	8	9	10
0.0	0.0	0	0	0	0
0.1	0.01	0.022	0.015	0.008	0.002
0.2	0.04	0.088	0.059	0.033	0.007
0.3	0.09	0.197	0.132	0.074	0.017
0.4	0.16	0.351	0.236	0.132	0.030
0.5	0.25	0.548	0.368	0.207	0.047
0.6	0.36	0.789	0.530	0.298	0.067
0.7	0.49	1.074	0.721	0.405	0.092
0.8	0.64	1.402	0.942	0.529	0.120
0.9	0.81	1.775	1.192	0.670	0.151
1	1.00	2.191	1.472	0.827	0.187

- Dari tabel 4.6. dan 4.7 menjelaskan nilai dari koefisien thrust dari masing-masing kecepatan pada kondisi *towing* dan *free running* . Dari nilai K_T dan J dapat dibuat grafik K_t – J seperti pada gambar 4.2 dan 4.3.



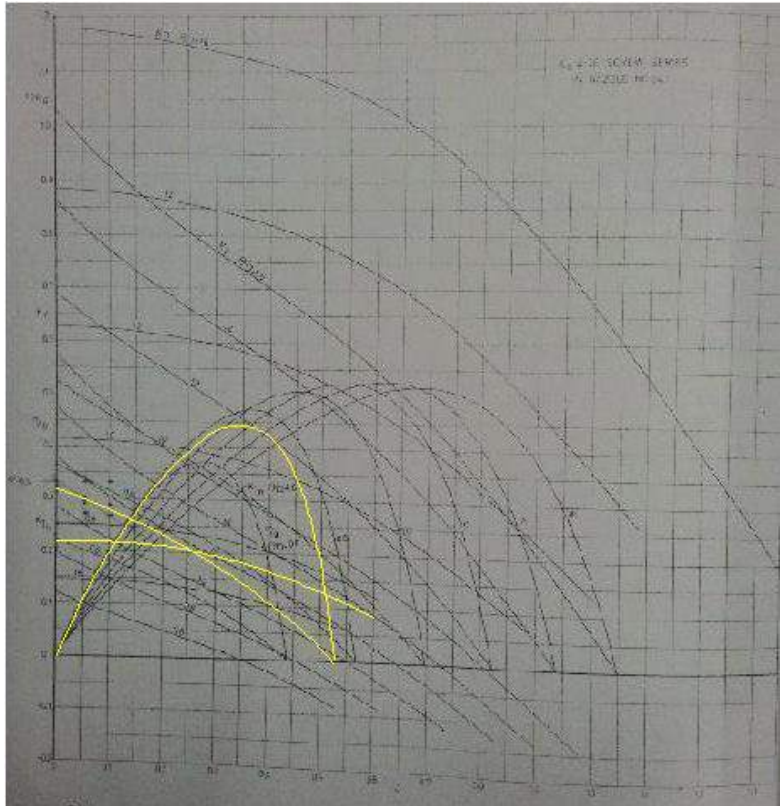
Gambar 4.2. Kt-J Curve saat *towing*



Gambar 4.3. Kt-J Curve saat *free running*

- Masing-masing kurva KT-J pada gambar 4.2 dan 4.3 akan diplotkan ke grafik *open water test* dari propeller yang dipilih yaitu Ka 4-70 In Nozzle 19A. Sebelumnya dibuat grafik untuk *open water test* dari data propeller tersebut dibuat terlebih dahulu. Berikut data dari propeller Ka 4-70 in nozzle 19A :

$$\begin{aligned} K_T &= 0.28 \\ P/D &= 0.67 \\ K_Q &= 0.02 \end{aligned}$$



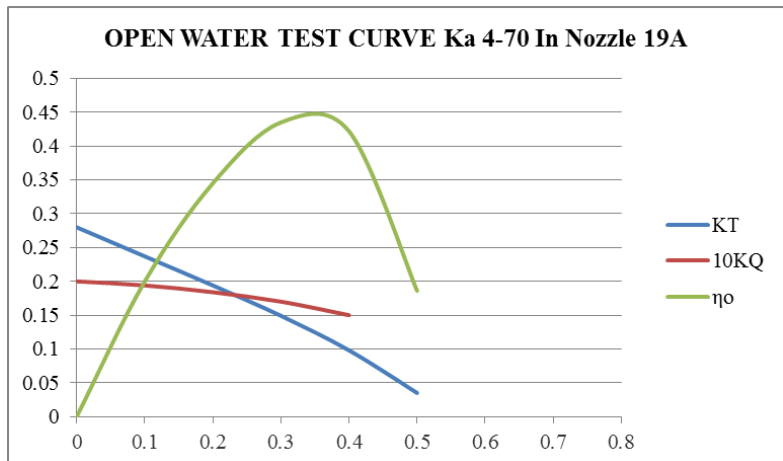
Gambar 4.4. Pembacaan *open water test curve* untuk tipe propeller Ka 4-70 in nozzle 19A

- Untuk memperjelas keterangan dari gambar 4.4 maka dibuat salinannya di *microsoft excel* dengan cara membaca hasil penggambaran di *open water test* Ka 4-70 in Nozzle 19A, kemudian data-data nilai K_T , K_Q dan η_0 yang didapat maka dibuat tabel 4.8.

Tabel 4.8. Hasil Pembacaan diagram untuk *open water test* Ka 4-70 in nozzle 19A

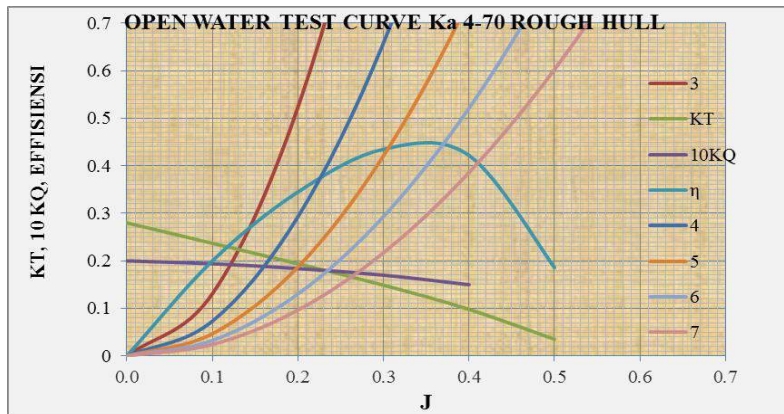
J	KT	10KQ	H _o
0	0.28	0.2	0
0.1	0.237	0.194	0.2
0.2	0.194	0.184	0.345
0.3	0.149	0.17	0.435
0.4	0.098	0.15	0.422
0.5	0.035		0.186
0.6			
0.7			
0.8			
0.9			
1			

- Tabel 4.8 menunjukkan nilai KT, KQ dan η_o dari hasil pembacaan kurva *open water test* Ka 4-70 In Nozzle 19A. Kemudian dari nilai tersebut dapat digambarkan lebih jelas seperti pada gambar 4.5.

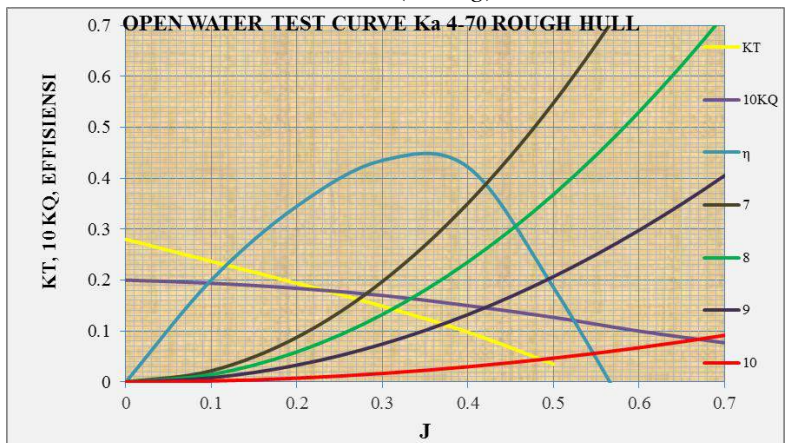


Gambar 4.5. Hasil pembacaan *open water test curve*

- Setelah kurva *open water test* didapatkan (gambar 4.5), maka kurva K_T - J (gambar 4.2 dan 4.3) diplotkan pada kurva *open water test* tersebut untuk mendapatkan titik operasi dari propeller pada saat kondisi sebenarnya (*rough hull*). Dapat dilihat pada gambar 4.6 dan 4.7



Gambar 4.6. Pengeplotan K_T - J Curve pada *open water test curve (towing)*



Gambar 4.7. Pengeplotan Kt-J Curve pada *open water test curve (free running)*

- Gambar 4.6 dan 4.7 menjelaskan bahwa nilai J, KT, KQ dan efisiensi didapat dari perpotongan antara tiap kurva KT-J tiap kecepatan dengan kurva *open water test* Ka 4-70 In Nozzle 19A. Sehingga didapat data pada tabel 4.9 dan 4.10.

Tabel 4.9. Hasil pembacaan pada *open water test* kondisi *rough hull (towing)*

Vs (knot)	J	KT	H	10 KQ	KQ
3	0.135	0.24	0.285	0.195	0.0195
4	0.17	0.235	0.4	0.19	0.019
5	0.205	0.22	0.47	0.185	0.0185
6	0.235	0.2	0.48	0.18	0.018
7	0.255	0.185	0.46	0.175	0.0175

Tabel 4.10. Hasil pembacaan pada *open water test* kondisi *rough hull (free running)*

Vs (knot)	J	KT	η	10 KQ	KQ
7	0.27	0.17	0.39	0.173	0.0173
8	0.33	0.15	0.31	0.17	0.017
9	0.42	0.12	0.2	0.14	0.014
10	0.48	0.05	0.06	0.05	0.005

- Dari hasil pembacaan *open water test* pada tabel 4.9 dan 4.10, maka daya yang bekerja pada putaran propeller yang sudah dipilih dapat dihitung sudah memenuhi dari daya engine yang digunakan.

Tabel 4.11. Hasil perhitungan power pada masing-masing putaran
saat *towing*

Vs (knot)	n (rps)	n (rpm)	Q (Nm)	DHP(watt)
	(Va/ JxD)		($KQ \rho n^2 D^5$)	($2\pi Qn$)
3	4.80	287.84	20645.58	621994.69
4	5.08	304.77	22552.43	719409.91
5	5.27	315.92	23595.09	780206.86
6	5.51	330.71	25156.88	870787.68
7	5.93	355.57	28272.96	1052207.11

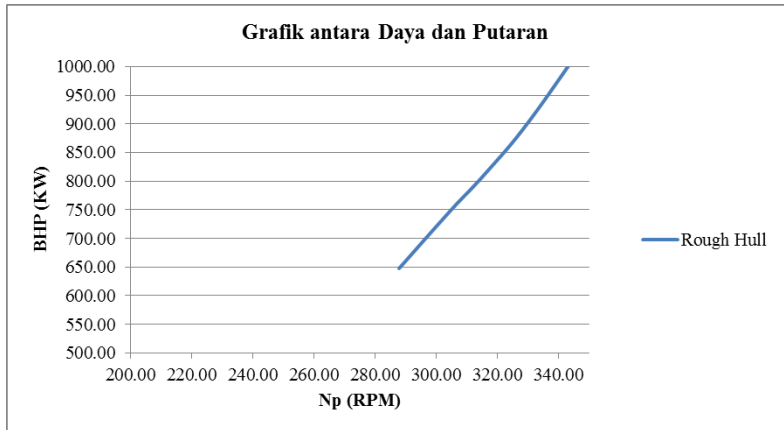
Vs (knot)	SHP (watt)	BHP (kW)	BHP (HP)
	(DHP/ η)		
3	634688.45	647.64	868.15
4	734091.74	749.07	1004.12
5	796129.44	812.38	1088.98
6	888558.85	906.69	1215.41
7	1073680.72	1095.59	1468.62

Tabel 4.12. Hasil perhitungan power pada masing-masing putaran
saat *free running*

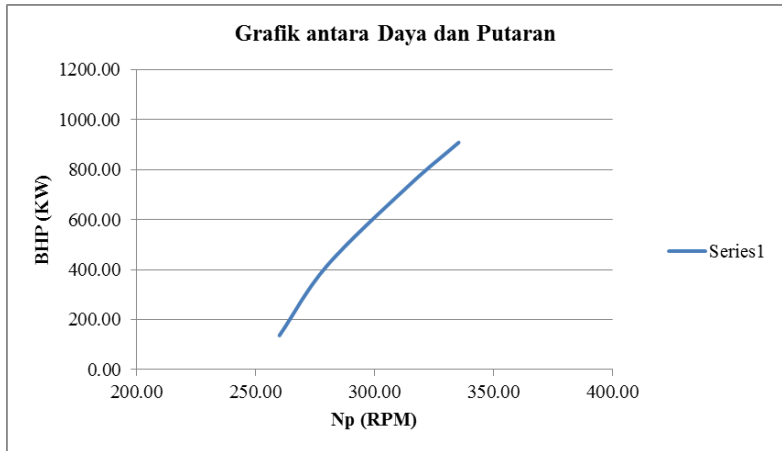
Vs (knott)	n (rps)	n (rpm)	Q (Nm)	DHP(watt)
	(Va/(JxD))		($KQ \rho n^2 D^5$)	($2\pi Qn$)
7	5.59	252.22	4637.20	398847.01
8	5.23	280.13	13746.90	703990.29
9	4.62	314.01	21419.96	873039.52
10	4.49	335.40	24869.24	130755.9

Vs (knott)	SHP (watt)	BHP (kW)	BHP (HP)
	(DHP/ η_s)		
7	133424.4	136.15	180.53
8	406986.74	415.29	556.69
9	718357.44	710.02	892.6
10	890856.65	910.04	1218.55

- Dari tabel 4.11 dan 4.12 didapatkan masing-masing daya (BHP) dari tiap variasi kecepatan service (Vs). Dimana daya hasil perhitungan yang memenuhi BHP engine hanya sampai kecepatan 4 knot yaitu 1004.12 HP untuk kondisi towing. Dari data BHP dan putaran masing-masing kondisi di tiap kecepatan maka dapat dibuat grafik *propeller load* seperti pada gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4.8. Grafik antara daya dan putaran saat *towing*



Gambar 4.9. Grafik antara daya dan putaran saat *free running*

- Dari gambar 4.8 dan 4.9 menjelaskan bahwa semakin cepat putaran propeller maka daya yang dibutuhkan untuk memutar propeller semakin besar. *Propeller load curve* tersebut (gambar 4.8 dan 4.9) akan diplotkan pada *engine envelope* Caterpillar WOSR untuk mengetahui cocok tidaknya antara propeller dan engine yang ditentukan sebelumnya.
- Untuk menghasilkan *propeller load curve* lebih dari satu maka dibuat variasi putaran engine dengan memilih rasio gearbox tertentu yang sudah ada dipasaran. Rasio gearbox yang dipilih yaitu 5.344, 5.591, 5.905. Kemudian dibuat tabel 4.13 dan 4.14.

Tabel 4.13. Nilai putaran engine di berbagai alternatif rasio gearbox
(*towing*)

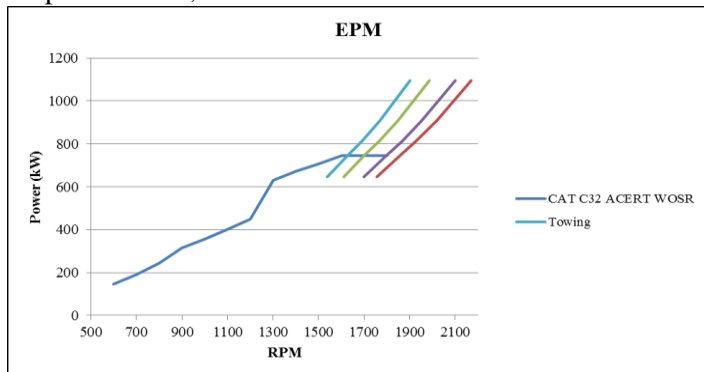
BHP (HP)	BHP (kW)	NP (RPM)	NE3 (5.344)	NE2 (5.591)	NE3 (5.905)	NE1 (6.1)
868.15	647.64	287.84	1538.22	1609.31	1699.70	1755.82
1004.12	749.07	304.77	1628.70	1703.98	1799.68	1859.11
1088.98	812.38	315.92	1688.29	1766.32	1865.52	1927.12

BHP (HP)	BHP (kW)	NP (RPM)	NE3 (5.344)	NE2 (5.591)	NE3 (5.905)	NE1 (6.1)
1215.41	906.69	330.71	1767.31	1849.00	1952.84	2017.33
1468.62	1095.59	355.57	1900.15	1987.98	2099.62	2168.96

Tabel 4.14. Nilai putaran engine di berbagai alternative rasio gearbox
(free running)

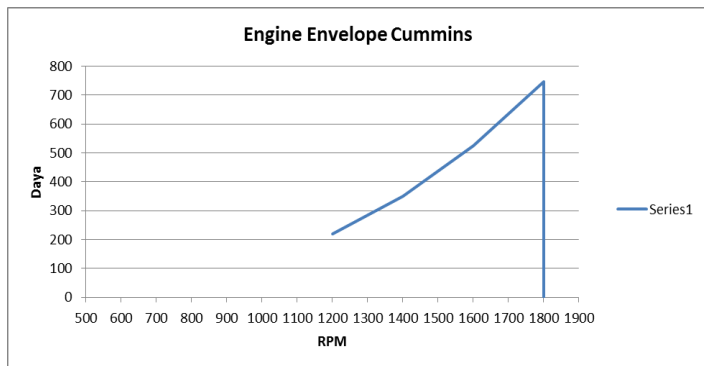
BHP (HP)	BHP (kW)	NP (RPM)	NE3 (5.344)	NE2 (5.591)	NE3 (5.905)	NE1 (6.1)
180.53	136.15	252.22	1346.69	1408.93	1488.06	1537.20
556.69	415.29	280.13	1496.32	1565.48	1653.40	1708.00
982.6	710.02	314.01	1678.07	1755.63	1854.23	1915.46
1218.55	910.04	335.4	1792.38	1875.22	1980.54	2045.94

- Variasi putaran engine dari tiap alternatif rasio gearbox yang didapat (tabel 4.13) maka akan dibuat grafik seperti pada gambar 4.8 dan hasilnya bisa dimasukkan pada *engine curve* dari engine Caterpillar WOSR C32 Acert. Kemudian dilakukan *Engine Propeller Matching* (EPM) seperti berikut,



Gambar 4.10. *Engine Propeller Matching*

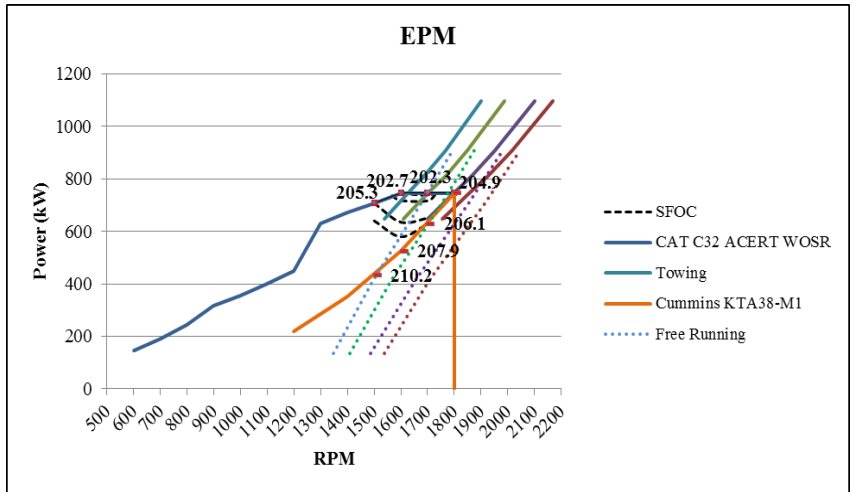
- Dari gambar 4.10 dapat dianalisa bahwa *propeller load curve* dengan alternatif rasio gearbox 5.344, 5.591 dan 5.905 masuk dalam *engine curve* dari Caterpillar WOSR C32 ACERT. Yang artinya propeller yang dipilih *match* dengan mesinnya.
- Selanjutnya, dari masing-masing variasi putaran engine dari alternatif rasio gearbox yang berbeda akan dipilih konsumsi bahan bakar paling rendah pada saat kecepatan yang sama. Dari hasil tersebut akan dibandingkan dengan engine lain dengan putaran dan daya yang sama. Engine yang dijadikan pembanding adalah :
 Type = KTA38-M1 Cummins Marine
 Configuration = V-12 Cylinder, 4-Stroke Diesel
 Rated RPM = 1800 rpm
 BHP = 1000 HP (746 kW)
 SFOC = 208 g/kW-hr



Gambar 4.11. *Engine envelope* dari engine pembanding

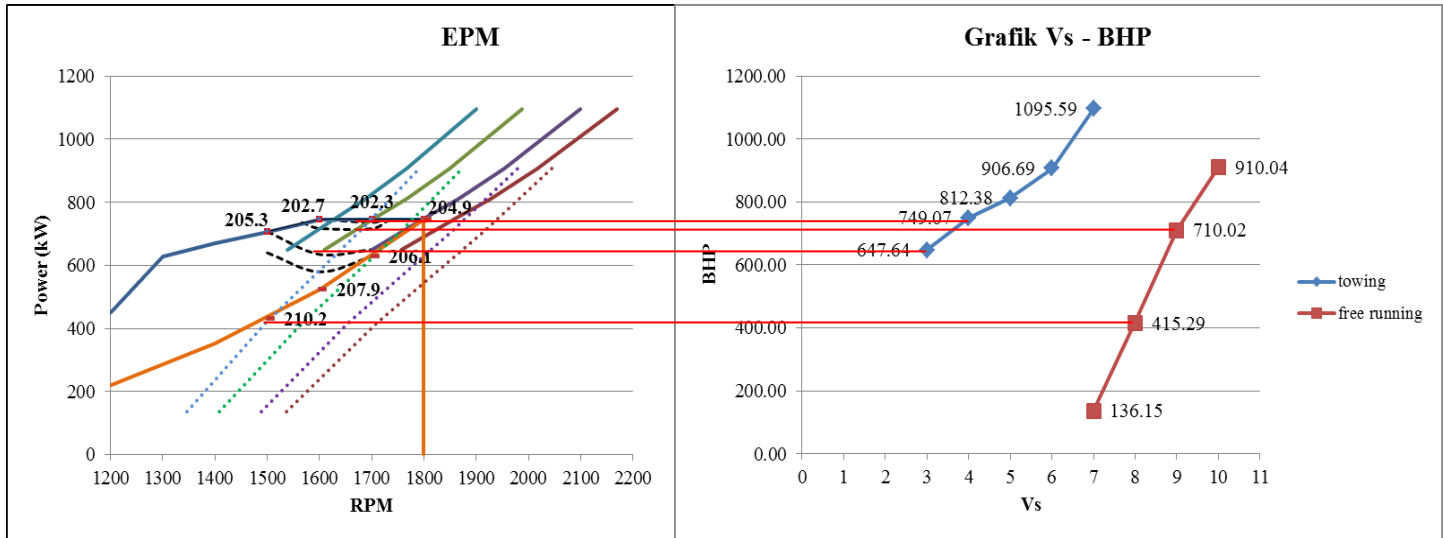
Gambar 4.11 menunjukkan *engine envelope* dari engine Cummins yang akan dibandingkan dengan engine Caterpillar untuk diketahui yang paling menguntungkan dari segi pemilihan propulsi dan konsumsi bahan bakarnya.

- Berikut merupakan grafik *engine propeller matching* dengan variasi kecepatan dan variasi alternatif rasio gearbox saat kondisi *towing* dan *free running*.



Gambar 4.12. EPM dengan 2 engine yang berbeda dan SFOC

- Gambar 4.12 menunjukkan *engine curve* dari engine CAT dan Cummins yang dipotongkan dengan propeller load curve yang sudah dihitung sebelumnya. Dari gambar tersebut dapat dianalisa bahwa untuk engine Caterpillar WOSR yaitu pada daya yang sama 1000 HP atau 746 kW dapat dipilih berbagai putaran engine untuk beberapa alternatif rasio gearbox. Sedangkan pada engine Cummins hanya bisa cocok dengan 1 tipe pada daya kurang 1000 HP dan putaran maksimal di 1800 rpm.



Gambar 4.13. Pemilihan propeller curve pada SFOC yang paling rendah

Dari gambar 4.13 dapat dianalisa bahwa dengan tipe propeller yang sama yaitu Ka 4-70 In Nozzle 19A pada saat *towing* (3-4 knot) dan pada saat kondisi *free running* (7-10 knot) dapat dipilih *propeller load curve* dengan alternative rasio gearbox 5.591 dan SFOC paling rendah yaitu 202.3 g/kW-h.

4.4.2. Perbandingan *Fuel Oil Consumption* engine Caterpillar WOSR dan Cummins

- Berikut ini adalah perhitungan FOC untuk engine Caterpillar WOSR C32 ACERT.

Tabel 4.15. Data SFOC Engine Caterpillar WOSR

NE	BHP (HP)	BHP (kW)	BSFC (g/kW-hr)	Fuel Rate (L/hr)
1600	1000	746	202.7	180.2
1700	1000	746	202.3	179.9
1800	1000	746	204.9	182.2

Tabel 4.16. Data SFOC Engine Cummins

Daya (kW)	RPM	SFOC(g/kW-hr)	Fuel Rate (L/hr)
220	1200	231	60.6
351	1400	225	94.3
524	1600	220	137.6
746	1800	208	185.1

Tabel 4.17. Waktu operasi tug boat setiap mode operasi

No.	Mode Operasional	Load	% Time		
1	Full Speed	84 %	9%	450	h
2	Econ.Speed	55.30 %	22%	1100	h
3	Slow Speed	53.30%	47%	2350	h
4	Manoeuvre	71.33 %	5%	250	h
5	Towing	100%	6%	300	h

- Waktu operasional kapal yang digunakan dalam skripsi ini diambil dari operasi tug boat selama 1 tahun dengan trayek Banjarmasin – Surabaya. Total waktu operasi tug boat dalam satu tahun adalah 5000 jam. Sehingga persen time pada setiap mode operasi dikalikan 5000 jam akan

mendapatkan waktu operasi kapal pada mode tersebut dalam satu tahun.

$$FOC = (SFOC \times t \times bhp) / 10^6 \times d$$

Dimana :

FOC : Fuel Oil Consumption (ton)

SFOC : Specific Fuel Oil Consumption (g/kW-h)

t : endurance (hours)

d : allowance (1.3-1.5)

- Dari persamaan di atas, maka didapatkan perbandingan konsumsi bahan bakar engine Caterpillar dan Cummins :

Tabel 4.18. Tabel Hasil Perbandingan FOC Caterpillar dan Cummins

No.	Mode Operasi	% Time	Waktu dalam 1 tahun	Daya (kW)	FOC CAT (l)	FOC Cummins (l)
1	Full Speed	9%	447.12	733.02	86194.4209	88623.033
2	Eco Speed	22%	1092.96	412.02371	118431.086	121768
3	Slow Speed	47%	2334.96	412.02371	253011.865	260140.72
4	Maneuver	5%	248.4	531.458431	34718.434	35696.66
5	Towing	6%	298.08	745.07	58407.5715	60053.262
Total					550763.378	566281.67

- Jadi dalam satu tahun konsumsi bahan bakar untuk engine Caterpillar adalah 550763,378 liter. Dimana harga bahan bakar MDO untuk satu liternya adalah Rp. 12,000,-. Konsumsi bahan bakar engine Caterpillar WOSR lebih hemat 15518,296 liter atau setara dengan menghemat pengeluaran uang sebesar Rp 186.219.550,- daripada memakai engine Cummins .

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melalui beberapa proses, mulai dari analisa data sampai perhitungan maka didapatkan beberapa kesimpulan untuk Analisa Performa Tug Boat dengan Bollard Pull 27 Ton menggunakan Caterpillar WOSR sebagai Main Propulsion Engine, yaitu :

1. Performa tug boat dengan menggunakan Caterpillar WOSR paling optimal adalah pada kecepatan 4 knot saat *towing* dan 9 knot saat *free running* pada ketiga alternatif rasio gearbox yaitu 5.344, 5.591, dan 5.905. Yang paling optimal pada alternatif rasio gearbox 5.591 karena memiliki konsumsi bahan bakar paling rendah.
2. Konsumsi bahan bakar engine Caterpillar WOSR dihitung selama 1 tahun operasi (5000 jam) adalah 550763.378 liter. Sedangkan untuk engine Cummins adalah 566281.67 liter. Maka konsumsi bahan bakar yang paling efisien pada alternatif rasio gearbox 5.591 adalah tug boat yang memakai engine Caterpillar WOSR karena bisa menghemat bahan bakar sebesar 15518,296 liter per tahunnya.

5.2. Saran

Beberapa saran yang dianjurkan dan dapat digunakan referensi untuk analisa selanjutnya sehingga bisa diperoleh hasil yang lebih baik, antara lain :

1. Sebaiknya saat mencari data kapal, diusahakan dapat lines plan atau data yang lengkap mengenai kapalnya untuk menghasilkan hitungan yang lebih akurat.

2. Referensi tipe propeller Kaplan Series diperbanyak agar bisa leluasa dalam menentukan tipe propeller yang dipilih.

DAFTAR PUSTAKA

2009. ”*Caterpillar C32 ACERT Marine Propulsion Specification*”.

Adji, Suryo W. 2005.” *Engine Propeller Matching*”. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Hermawan Heru . 2005.” *THE BENEFIT OF “WOSR” RATING IN C32 ACERT MARINE PROPULSION*”. Jakarta : PT Trakindo Utama.

Holtrop J and Mennen G.G.J. 1978 “*AN APPROXIMATE POWER PREDICTION METHOD*”. International Shipbuilding Progress (Vol.25)

Hutabarat, Rilly C. 2006. “*Parameter Penentu Motor Diesel Pada Engine Side*”.

Kuiper G., 1992. “*The Wageningen Propeller Series*”. MARIN Publication 92-001.

Zahalka P. ”*Bollard Pull*”. Association of Hanseatic Marine Underwriters. (Martin's Marine Engineering Page - www.dieselduck.net)

Halaman ini sengaja di kosongkan

This activity and the information contained herein is supplied to the subscriber for their use only. It is not to be used for any other purpose. The subscriber is responsible for the accuracy of the information contained herein. The subscriber is not to be held responsible for any loss or damage resulting from the use of the information contained herein.

[illegible]

Lampiran 3

- Spec. Engine Caterpillar WOSR

CATERPILLAR®

C32 ACERT™

1015 mhp (1000
bhp) 746 kW

MARINE PROPULSION



Image shown may not reflect
actual Engine

SPECIFICATIONS

V-12, 4-Stroke-Cycle-Diesel

Emissions	IMO/EPA Tier 2, EU Stage 3A IW, CCNR Stage II, DnV clean
Displacement	32.1 L (1958.8 cu. in.)
Rated Engine Speed	1800
Bore	145.0 mm (5.71 in)
Stroke	162.0 mm (6.38 in)
Aspiration	TTA
Governor	Electronic
Cooling System	Hex (A-D ratings) Keel (A-C ratings)
Weight, Net Dry (approx)	2,840 kg (6,261 lb)
Refill Capacity	
Cooling System	80 L (21.1 gal)
Lube Oil System	138 L (36.5 gal)
Oil Change Interval	500 hr
Caterpillar Diesel Engine Oil	10W30 or 15W40
Rotation (from flywheel end)	CCW
Flywheel and Flywheel housing	SAE No. O
Flywheel Teeth	136
Maximum Exhaust Backpressure	6.7 kPa (26.9 in. water)
Wide Operating Speed Range (WOSR)	available on select ratings. Please see local Cat Dealer for availability

- Spec. Engine pembanding

RUN HARD. DREAM BIG.™



ENGINE SPECIFICATIONS

Configuration	V-12 Cylinder, 4-Stroke Diesel
Bore & Stroke	159 mm x 159 mm (6.25 in x 6.25 in)
Displacement	38 L (2300 in³)
Compression Ratio	13.9:1
Rotation	Counterclockwise facing flywheel
Oil Pan Capacity	114 L (30 gallons) Standard Capacity 185 L (49 gallons) High Capacity

POWER RATINGS

Rating	Continuous Duty*		Heavy Duty*
Rated RPM	1600	1800	1800
kW (BHP)	671 (900)	746 (1000)	820 (1100)
Max Torque (N·m)	4187	4187	4655
(ft·lb)	(3089)	(3089)	(3433)
RPM	1300	1400	1400

*Ratings are IMO emissions compliant.

Lampiran 4

- Gearbox yang digunakan

Light Duty						
L						
	1600 rpm		1800 rpm		2100 rpm	
kW/rpm	BHP	(KW)	BHP	(KW)	BHP	(KW)
WAF 444						
0,46	986	(736)	1110	(828)	1294	(966)
0,44	943	(704)	1061	(792)	1238	(924)
0,41	879	(656)	989	(738)	1154	(861)
WAF 464						
0,46	986	(736)	1110	(828)	1294	(966)
WAF 474						
0,46	986	(736)	1110	(828)	1294	(966)
WAF 542						
0,57	1222	(912)	1375	(1026)	1604	(1197)
WAF 563						
						

WEIGHT		RATIOS
kg	(lbs)	# = special reduction ratio
760	(1672)	1,468#; 1,698#; 1,974#; 2,467#; 2,962
760	(1672)	3,522
760	(1672)	3,952
940	(2068)	4,000#; 4,577; 5,042; 5,591#; 5,905

Lampiran 5

- Perhitungan tahanan kapal menggunakan metode Holtrop

Dimensi Utama Kapal :

Type	Tug Boat	
Lpp	25.06	meter
Lwl	26.82	meter
B	8	meter
H	4.3	meter
T	3.3	meter
Cbwl	0.51	
Vs	7	knots
	3.5980	m/s
Cm	0.874	
Cp	0.612	
Cwp	0.54	
cb	0.57	
Lcb	0.1341	
L/B	3.353	
B/L	0.298	
T/L	0.123	
L^3/∇	53.42	

- Perhitungan

- Menghitung volume displacement

$$\begin{aligned}\nabla &= Lwl \times B \times T \times C_{bw} \\ &= 361.10 \quad m^3\end{aligned}$$

- Menghitung displacement

$$\begin{aligned}\Delta &= \nabla \times \rho && \text{dimana, } \rho = 1.025 \quad \text{ton/m}^3 \\ &= 370.13 \quad \text{ton}\end{aligned}$$

- Menghitung luas permukaan basah

$$\begin{aligned}S &= L (2T+B) (\sqrt{C_M})(0.453+0.4425C_B-0.2862C_M-0.003467B/T +0.396C_{WP})+2.38A_{BT}/C_B \\ S &= 226.86 \quad m^2\end{aligned}$$

- Menghitung Froud Number (Fn)

$$\begin{aligned}Fn &= V_s/(g \times Lwl)^{0.5} \\ &= 0.222\end{aligned}$$

- Menghitung Renold Number (Rn)

$$\begin{aligned}Rn &= (V_s \times Lwl)/u && \text{dimana, } u = 1.1883E-06 \\ &= 81206385.54\end{aligned}$$

1. Viscous Resistance (Tahanan Gesek)

adalah tahanan yang diakibatkan karena adanya kekentalan fluida, adapun rumus dari viscous resistance (principle of naval architecture vol. II, 90) adalah :

$$R_v = 0.5 \rho V^2 C_f (1+k_1) S \quad (\text{principle of naval architecture vol. II, 90})$$

berdasarkan ITTC-1957 diperoleh koefisien tahanan gesek :

$$\begin{aligned} C_f &= 0.075/(\log R_n - 2)^2 \\ &= 0.002147566 \end{aligned}$$

- *Length of run (L_r)*

$$\begin{aligned} L_R &= \text{LWL}(1 - C_P + 0.06 C_{PLCB} / (4 C_P - 1)) & (\text{principle of naval architecture vol. II, 91}) \\ L_r &= 10.50 \quad \text{m} \end{aligned}$$

- *Form Factor of the hull the prediction formula :*

$$\begin{aligned} (1 + K_1) &= C_{13}(0.93 + ((C_{12}(B/L_r))^{0.92497}) \times ((0.95 - C_P)^{-0.521448}) \times (1 - C_P + 0.0225 l_{cb})^{0.6906}) \\ & \quad (\text{principle of naval architecture vol. II, 91}) \end{aligned}$$

Koefisien C₁₂ didefinisikan :

$C_{12} = (T/L)^{0.2228446}$	when,	$T/L > 0.05$
$C_{12} = 48.2(T/L - 0.02)^{2.078} + 0.479948$		$0.02 < T/L < 0.05$
$C_{12} = 0.479948$		$T/L < 0.02$

$$\begin{aligned} C_{12} &= (T/L)^{0.2228446} \\ &= 0.616 \end{aligned}$$

$$C_{13} = 1 + 0.03 C_{stern}$$

mengikuti aturan dibawah ini :

Afterbody form	C _{stern}
<i>V-shaped section</i>	<i>-10</i>
<i>normal shaped</i>	<i>0</i>
<i>U-shaped section with Hogner stern</i>	<i>10</i>

$$\begin{aligned} C_{13} &= 1 + 0.03 C_{stern} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$1+k_1 = 1.299425609$$

sehingga :

$$\begin{aligned} R_f(1+k_1) &= 0.5\rho V^2 C_f(1+k_1)S \\ &= 4.200236494 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

2 Appendages Resistance (Tahanan Tambahan)

Type of appendages resistance : rudder of twin screw ship dan nozzle, $(1+k_2)$ = koefisien tipe tahanan tambahan (principle of naval architecture vol. II, 92)

$$(1+k) = (1+k_1) + \{(1+k_2) - (1+k_1)\} * S_{app}/S_{tot}$$

dimana :

c1 =	untuk faktor tipe kapal
=	1.0 untuk kapal umum
=	0.9 untuk bulk carier dan tanker dengan displacement >50.000 ton
=	1.7 untuk tug dan trawler

c2 =	untuk faktor tipe rudder
=	1.0 untuk kapal umum
=	0.9 semi spade rudder
=	0.8 untuk double rudder
=	0.7 untuk high lift rudder

c3 =	untuk faktor profil rudder
=	1.0 untuk NACA-profil dan plat rudder
=	0.8 untuk hollow profil

c4 =	untuk rudder arrangement
=	1.0 untuk rudder in the propeller jet
=	1.5 untuk rudder outside the propeller jet

$$S_{\text{kemudi}} = \frac{c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 (1.75 \cdot L \cdot T / 100)}{2.11} \quad \text{m}^2$$

(BKI vol. II 1996, sec 14)
(digunakan karena rumusan perhitungan
A utk rules ABS tdk ditemukan)

$$(1+k_2) = 8.1$$

$$S_{\text{bossing}} = 1.5 \cdot \pi \cdot D^2$$

$$S_{\text{bossing}} = 0.739 \quad \text{m}^2$$

$$D_{\text{boss}} = 0.12 \text{ T}$$

$$D_{\text{boss}} = 0.396 \text{ m}$$

$$S_{\text{app}} = 2.84504616 \quad \text{m}^2$$

$$S_{\text{tot}} = S_{\text{app}} + S$$

$$= 229.71 \quad \text{m}^2$$

$$(1+K_2)_{\text{eq}} = \frac{\sum S_{\text{APP}} (1+K_2)}{\sum S_{\text{APP}}}$$

$$(1+k_2)_{\text{eq}} = 6.100$$

$$(1+k) = \frac{(1+k_1) + \{(1+k_2)_{\text{eq}} - (1+k_1)\} \cdot S_{\text{app}} / S_{\text{tot}}}{1.358883}$$

$$R_{\text{APP}} = 0.5 \rho V^2 S_{\text{APP}} (1+K_2)_{\text{eq}} C_F$$

$$R_{\text{app}} = 0.24727441 \quad \text{kN}$$

3 Wave Making Resistance

$$RW-A_{0.4} = C_1 C_2 C_5 \nabla \rho g \exp \{ m_1 F_n + m_2 \cos (\lambda F_n - 2) \}$$

*(principle of naval
architecture vol. II, 92)*

Karena $F_n < 0.4$ maka

$$\begin{aligned} c_1 &= 2223105.c_7^{3.7861} (T/B)^{1.0796} (90 - iE)^{-1.3757} \\ &= \mathbf{27.03411679} \end{aligned}$$

dimana :

$$\begin{aligned} c_7 &= 0.5 - 0.0625 L/B && \text{untuk } B/L > 0.25 \\ &= 0.29046875 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} iE &= 1 + 89 \exp \{ -(L/B)^{0.80856} (1 - CWP)^{0.30484} (1 - CP - 0.0225 LCB)^{0.6367} \\ &\quad (LR/B)^{0.34574} (100 \nabla / L^3)^{0.16302} \} \end{aligned}$$

karena $T_a = T_f = T$ maka:

$$iE = \mathbf{23.15350044}$$

$$c_2 = \mathbf{1} \quad \text{tanpa bulbousbow}$$

$$c_3 = 1 - 0.8 (A_t / B.T.C_m)$$

$$\begin{aligned} A_t &= \text{immersed area of transom at zero speed} \\ &= 11.064 \end{aligned}$$

$$c3 = 0.616392761$$

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L/B$$

$$= 0.784377$$

$$\text{untuk } L/B < 12$$

$$L/B = 3.35$$

$$d = -0.9$$

$$m1 = 0.01404 L/T - 1.7525 \nabla^{1/3} / L - 4.7932 B/L - c16$$

$$= -3.132837572$$

$$c16 = 8.0798 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.9844 C_p^3$$

$$= 1.351894238$$

$$m2 = c15.0.4 e^{(-0.034 F_n^{(-3.29)})}$$

$$= -0.005503756$$

$$\text{untuk } L^3/\nabla = 53.4248663$$

$$c15 = -1.69385$$

$$\text{untuk } L^3/\nabla = 512$$

maka :

$$R_w = c1.c2.c3.W.e^{[m1F_n^d + m2\cos(\lambda F_n^{-2})]}$$

$$= 0.323824104 \quad \text{kN}$$

$$W = \rho.g.\nabla$$

$$= 3631.00 \text{ ton}$$

4 Tahanan tambahan dari Transom (Rtr)

$$\begin{aligned} R_{tr} &= 0.5 \rho V^2 A_t c_6 \\ &= 93.95470942 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{nt} &= V/(2 g A_t/(B + B C_{wp}))^{0.5} \\ &= 0.8575953 \\ C_6 &= 0.2(1-0.2F_{nt}) \\ &= 0.16569619 \end{aligned}$$

5 Model Ship Correlation allowance

adalah nilai koreksi yang berhubungan dengan model kapal :

Karena nilai $T/L > 0.04$ maka nilai C_4 adalah 0.04

$$\begin{aligned} C_a &= 0.006(L_{wl}+100)^{-0.16}-0.00205+0.003(L_{wl}/7.5)^{0.5}*C_b^4*c_2(0.04-c_4) \\ &= 0.000682785 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_a &= 0.5 \rho V^2 C_a S \\ &= 1.027684838 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

6 Tahanan Total

$$R_t = R_F(1+k)+R_{app}+R_b+R_{tr}+R_w+R_a$$

$$R_t = 99.75372926 \quad \text{kN} \quad (\text{R bulbous bow} = 0)$$

Dalam hal ini tahanan total masih dalam pelayaran percobaan, untuk kondisi rata-rata pelayaran dinas harus diberikan kelonggaran tambahan pada tahanan dan daya efektif. Kelonggaran rata-rata untuk pelayaran dinas disebut sea margin/service margin. Untuk rute pelayaran Asia Timur diperkirakan sea marginnya adalah sebesar 15-20%

$$\begin{aligned} \mathbf{Rt\ dinas} &= (1+15\%)*\mathbf{Rt} \\ &= \mathbf{114.717} \quad \mathbf{kN} \end{aligned}$$

Biodata Penulis



Penulis dilahirkan di Pasuruan pada tanggal 17 Januari 1993. Penulis merupakan anak pertama. Pendidikan yang ditempuh penulis di SDN 01 Kemirisewu Pandaan pada tahun 1999-2005. SMPN 1 Pandaan pada tahun 2005-2008. Dan SMAN 1 Pandaan pada tahun 2008-2011. Kemudian penulis melanjutkan studinya di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2011-2015. Penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi seperti Sekretaris Pusat Marine Icon 2013 dan 2014, Sekretaris Departemen DAGRI HIMASISKAL FTK ITS 2012-2013, BPH HIMASISKAL FTK ITS 2013-2014, Staff Departemen SOSMAS BEM FTK 2012-2013, dan member Laboratorium Marine Power Plant JTSP 2014-2015.